

LES ORIGINES
DE LA
THÉORIE DE L'ÉTHER
ET LA
PHYSIQUE DE NEWTON

THÈSE COMPLÉMENTAIRE

*Présentée pour le doctorat à la Faculté des Lettres de l'Université
de Paris*

PAR

LÉON BLOCH

Ancien élève de l'École Normale supérieure,
Agrégé de philosophie.

PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

LIBRAIRIES FÉLIX ALCAN ET GUILLAUMIN RÉUNIES
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1908

Tous droits de traduction et de reproduction réservés.

LES ORIGINES
DE LA
THÉORIE DE L'ÉTHER
ET LA
PHYSIQUE DE NEWTON

LES ORIGINES
DE LA
THÉORIE DE L'ÉETHER
ET LA
PHYSIQUE DE NEWTON

THÈSE COMPLÉMENTAIRE

*Présentée pour le doctorat à la Faculté des Lettres de l'Université
de Paris*

PAR

LÉON BLOCH

Ancien élève de l'École Normale supérieure,
Agrégé de philosophie.



PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

LIBRAIRIES FÉLIX ALCAN ET GUILLAUMIN RÉUNIES
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1908

Tous droits de traduction et de reproduction réservés.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LES
ORIGINES DE LA THÉORIE DE L'ÉTHER
ET LA PHYSIQUE DE NEWTON

I

La théorie de l'Éther joue dans la physique moderne un rôle essentiel. En optique, en magnétisme, en électricité, on lui doit la plupart des progrès accomplis par la science depuis un siècle. Le sens même du mot éther est difficile à préciser. Les différents auteurs qui admettent l'existence de l'éther ne lui attribuent pas les mêmes propriétés. Pour les uns, c'est un corps d'élasticité constante, qui résiste avec une force invincible à toute compression. Telle est la conception de *Neumann* et de ses disciples. *Fresnel* au contraire envisage l'éther comme doué d'une élasticité variable, mais répandu avec la même densité dans tout l'univers. Encore n'est-il pas certain que *Fresnel*, selon les phénomènes qu'il s'agit d'expliquer, n'ait pas admis successivement les deux hypothèses¹. D'autres physiciens, *Maxwell* par exemple, considèrent l'éther comme le siège de perturbations électromagnétiques, et ici encore les tensions qu'il supporte sont estimées différemment selon qu'il s'agit d'expliquer la polarisation diélectrique ou l'attraction électrostatique². L'éther est regardé par *Helmholtz* et *Lorentz* comme agissant sur la matière. Mais cette action se fait pour le premier conformément au principe de l'égalité de l'action et de la réaction, tout comme en mécanique; il semble bien qu'on ne puisse conserver ce principe dans l'Electrodynamique de *Lorentz* sans l'abandonner dans la Dynamique proprement dite³.

1. V. H. Poincaré, *Théorie mathématique de la Lumière*, t. I (Paris, chez Naud).

2. Cf. H. Poincaré, *Électricité et Optique*. Paris, 1902.

3. V. la *Philosophie de Newton*, Ch. V, les Principes fondamentaux de la Mécanique, et H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, III^e partie.

D'une manière générale, la notion de l'éther est allée en se différenciant progressivement depuis l'époque de Newton jusqu'à nos jours. Il est certain que le terme d'éther était à la fin du ^{xvii}^e siècle un mot hardi qu'on risquait bien rarement dans le langage scientifique. Il n'avait qu'un sens vague, celui de milieu différent des milieux matériels, et capable de propager les actions qui affectent la matière. Précisément à cause de sa signification indéterminée, le mot éther ne risquait pas de susciter de confusion : on l'employait sans perdre de vue tout ce qu'il contenait d'équivoque. De nos jours, par le progrès naturel des sciences, les conceptions de l'éther se sont à la fois précisées et multipliées. A mesure qu'on a mieux compris les services que pouvait rendre cette idée, on l'a appliquée à plus de choses et avec plus de détail. De là les théories qui admettent plusieurs éthers, où un éther jouissant de propriétés complexes. Il serait malaisé de donner une définition générale qui convînt aussi bien à l'éther luminifère, à l'éther gyrostatique de Lord Kelvin, à l'éther de Hertz et à celui de Lorentz. Au fur et à mesure qu'on a assigné à l'éther des propriétés plus précises, il a été plus difficile d'en faire un médiateur universel. Aussi ne prétendrons-nous pas, parmi les définitions modernes, en choisir une comme plus exacte que les autres. Il nous suffit que ces définitions aient toutes un trait commun pour qu'il soit permis d'en rechercher la commune origine. Ce trait est le suivant. Toutes les théories de l'éther, malgré les divergences qu'on y remarque, admettent l'existence d'un ou de plusieurs milieux, *distincts des milieux matériels*, et servant de substrats aux actions physiques. En partant de cette caractéristique, nous sommes en droit de nous demander si la notion de l'éther existait en physique avant Newton, et dans quelle mesure il en a propagé l'emploi.

La question ainsi posée n'a pas seulement une importance scientifique. Elle touche directement à l'évolution des idées philosophiques au cours du ^{xviii}^e siècle. Cette évolution se marque, comme on sait, par deux faits essentiels, la chute définitive du Cartésianisme et de tous les systèmes déductifs, la substitution à la science métaphysique d'une science positive. Rien n'a plus contribué à la chute du Cartésianisme que la physique newtonienne, non seulement par la réfutation

qu'elle fait de l'hypothèse des tourbillons, mais encore par sa critique de l'idée de matière.

La physique cartésienne peut, en un sens, passer pour le type des physiques *matérialistes*. Nous entendons par là qu'elle n'admet dans la nature qu'un seul agent physique, la matière, et que tous les phénomènes consistent pour elle en déplacements de matière. C'est par erreure qu'on a essayé parfois de montrer que les ouvrages de Descartes contiennent en germe la théorie moderne de l'éther¹. Il n'y a là qu'un rapprochement factice dont aucun texte ne fournit la justification. La matière subtile de Descartes, les particules de son premier et de son deuxième élément, ne jouent nullement, par rapport aux particules plus grossières, le même rôle que l'éther par rapport à la matière. Chez Descartes, il n'y a et il ne peut y avoir qu'une seule espèce de réalité, l'étendue ou la matière, différemment divisée. Cette matière peut se diversifier par les degrés de grosseur ou de subtilité, mais elle reste toujours homogène à elle-même, et le but évident de Descartes est justement de ramener tous les phénomènes naturels au phénomène matériel qu'il juge le plus clair, le choc de deux corps solides.

Si l'on compare la matière subtile à l'éther des modernes, il faudra accorder que l'éther se trouve déjà dans la physique atomistique. Les corpuscules ronds et ténus dont Lucrèce fait la substance de l'air devraient aussi être regardés comme faisant contraste avec la matière grossière et mériter par suite le nom d'éther. La vérité est que ni Epicure, ni Descartes, ne pouvaient pressentir avec netteté ce que nous appelons du nom d'éther. Ils cherchaient tous deux une explication métaphysique des phénomènes, et cette explication, ils l'ont trouvée, l'un dans l'hypothèse des atomes, l'autre dans l'idée de la substance étendue. Mais il est de l'essence des deux systèmes d'aboutir à une explication unique : les atomes seuls, l'étendue

1. V. Bouillier, *Histoire de la Philosophie Cartésienne*, t. I. ch. ix, p. 245. « Il semble qu'aujourd'hui même, dans toutes les branches de la science de la nature, nous assistions à un retour aux grandes vues mécaniques de Descartes. Le vide n'est-il pas banni de l'univers, et l'éther sous un autre nom n'est-il pas la matière subtile, remplissant tous les espaces ? Ce sont maintenant les vibrations de cet éther qui font la lumière ; la chaleur elle-même, comme la lumière, n'est plus comme dans la physique de Descartes que du mouvement. » V. aussi t. II, ch. xxix et P. Janet, *le Matérialisme contemporain*.

seule, doivent rendre compte de tout. Assurément Epicure postule le vide et Descartes le mouvement, mais ce ne sont pas là des réalités qui s'opposent à la matière, ce sont des conditions nécessaires à l'activité de cette matière. Au lieu de cela les théories de l'éther supposent la réalité de quelque chose qui n'est pas matière, bien qu'il puisse posséder certaines propriétés de la matière. Ce « quelque chose » est tout aussi objectif que la matière, telle qu'on la conçoit d'ordinaire, et s'il ne lui était pas sans cesse associé, tout nous échapperait de la matière elle-même.

De là il n'y a qu'un pas à faire pour comprendre que l'idée d'étendue, dont la clarté et la distinction frappaient tellement Descartes, n'a pas une valeur privilégiée parmi nos idées. Il est impossible que la matière, la substance étendue et partout homogène, existe seule. L'idée vulgaire de la matière est applicable à une partie du réel, mais il y en a une autre, où il faut faire appel à des milieux d'espèce différente, soumis à des lois différentes. La conception de la matière n'est donc pas absolue. Elle dépend de l'état actuel de la science, elle ne peut se soutenir avec assurance que si on la limite par une conception nouvelle, celle de l'éther immatériel. Il est même possible, en étendant convenablement la définition de l'éther, d'arriver à y condenser toute la réalité et à éliminer de la physique toute matière prétendue indépendante¹. Quoi qu'il en soit, l'opposition de l'éther et de la matière a donné lieu à des comparaisons fécondes. C'est elle qui a fait passer l'idée de matière du rang de conception « absolue » à celui de conception « relative ». C'est elle, en partie, qui a procuré la transition de Descartes à Kant.

II

Avant d'analyser les progrès que Newton a fait faire à la conception de l'éther, il convient de voir jusqu'à quel point ces progrès étaient préparés par les travaux des physiciens antérieurs. Ce sont l'optique et l'astronomie, les deux seules

1. V. à ce sujet *Aether and Matter* par J. Larmor, Introduction.

sciences qui fussent arrivées depuis le xvi^e siècle à un réel développement, qui ont été la double source où puisera Newton.

En optique, on peut dire que la théorie des qualités occultes, malgré les erreurs qu'elle a fait commettre, est une de celles qui ont le plus favorisé la conception physique de l'éther. Elle a permis de concevoir la lumière comme une entité spéciale, distincte de la matière, constituant une substance par elle-même. C'est de la sorte qu'*Antoine de Dominis* affirmait déjà en 1611¹ que la lumière est quelque chose qui s'ajoute aux corps et leur donne la couleur. Quand la lumière est pure et étincelante, elle prend l'aspect du feu. Lorsqu'elle perd son scintillement, elle donne la couleur blanche. Lorsqu'elle se mélange d'impuretés matérielles, vapeurs ou fumées, elle produit les différentes couleurs, d'abord le rouge, puis le vert, enfin le violet, selon la proportion de substances étrangères qui se mêlent à la substance lumineuse.

Pour *Marcus Marci de Kronland*², l'un des précurseurs les plus originaux de Newton, la lumière est aussi une substance susceptible de condensation ou de raréfaction indépendamment de la substance matérielle dans laquelle elle réside. C'est ainsi que le passage de la lumière d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent équivalait pour *Marcus Marci* à une condensation énergétique des rayons, condensation à la suite de laquelle la lumière se présente avec des attributs nouveaux: elle est colorée, et cela d'une manière d'autant plus vive que la condensation a été plus énergétique. La qualité de la lumière, c'est-à-dire son intensité, ne modifie en rien les couleurs de réfraction. Celles-ci dépendent de la seule condensation subie par la substance lumineuse au passage du prisme. On voit que dès le commencement du xvii^e siècle, l'idée s'était fait jour que la lumière est distincte de la matière, qu'elle l'influence et est influencée par elle. En vérité on laissait dans le vague la question de savoir si la substance « lumière » était réellement autre chose que la substance matérielle. On se con-

1. Cf. *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus*, *Marci Antonii de Dominis*, Venetiae, 1611.

2. *V. Thaumantias, Liber de Arcu Cælesti deque Colorum Apparentium Natura, ortu et causis*, *Auctore Joanne Marco Marci*, Prague, 1648.

tentait de la désigner sous le nom de substance, sans se préoccuper d'en rechercher la nature. Par là on demeurait encore très loin de la conception positive de l'éther, conception calquée sur celle de la substance matérielle.

La théorie de la lumière accomplit un progrès important le jour où elle se rapprocha de la théorie du son, et où l'on songea à comparer le milieu où se propagent les ébranlements lumineux à celui qui sert de véhicule aux ondes sonores. On ne devait pas tarder à observer que la lumière se propage aussi bien dans le vide que dans l'air. Mais si, comme l'a montré Torricelli, l'air est matériel et pesant, tandis que le vide est seulement étendu, il faut en conclure que le mouvement lumineux peut se propager en dehors de toute matière. Il existe donc un milieu éthéré où s'effectuent les mouvements lumineux. D'après Libri¹, c'est à *Léonard de Vinci* qu'il faut faire remonter l'honneur d'avoir le premier saisi l'analogie entre la propagation des ondes lumineuses et celle des ondes fluides ou sonores. Mais il semble bien, d'après les dernières publications des manuscrits de *Léonard de Vinci*, que ce dernier ne se soit nulle part exprimé d'une manière décisive sur le rapprochement des deux ordres de phénomènes².

Galilée, dans ses *Discours et Démonstrations mathématiques touchant deux sciences nouvelles*, explique très nettement que la lumière suppose le mouvement d'un milieu. L'idée de Galilée est que les effets physiques ont toujours des causes cinétiques. Le mouvement seul est capable de modifier les corps en leur ôtant ou leur donnant de la vertu. Or la lumière peut, dans certains cas, produire des effets mécaniques puissants. Concentrée au foyer d'une lentille elle peut amener une agitation des particules capable de fondre les métaux. Agissant sur une substance explosive, elle donne lieu à des mouvements violents. Il faut donc qu'elle soit elle-même en mouvement, et par suite qu'elle mette en branle un milieu spécial. Maintenant Galilée laisse indécise la question de savoir si le milieu lumineux est le siège de mouvements ondulatoires ou de chocs dus à des particules solides. Il lui suffit d'avoir

1. V. Libri, *Hist. des Sciences Math. en Italie*, Paris, 1840, t. III, p. 43, note 3.

2. Cf. F. Rosenberger, op. cit., p. 21, note 2.

mis en évidence la nécessité d'une *vitesse de propagation* caractéristique de la lumière. Il a même indiqué que cette vitesse est certainement bien supérieure à celle du son¹.

Isaac Voss, dans un célèbre ouvrage *sur la Nature de la Lumière*² pose en fait que la lumière n'est pas un corps. Les corps sont impénétrables de leur nature et ne peuvent coexister au même lieu. La lumière jouit de propriétés exactement inverses. Rien n'est plus aisé à réaliser que la pénétration d'un rayon de lumière par un autre; ou la concentration de différents rayons en un seul point géométrique. L'expérience classique des miroirs ardents, déjà réalisée par Archimède, montre qu'on peut réunir au foyer d'un système optique une infinité de rayons lumineux venant de directions différentes. La substance de la lumière n'est autre que le feu, et celui-ci, d'après *Voss*, n'a rien de matériel. Ce n'est pas, comme les Anciens l'ont conçu, un élément comparable à l'air, à l'eau, ou à la terre. Le feu est une chaleur intensive produite par l'ébranlement violent des corps solides, mais cet ébranlement n'est pas corporel, il est l'« acte qui dissout les corps » (*actus dissolvens corpora*). Bien qu'immatérielle, la lumière est pourtant quelque chose de réel, au même titre que le son, l'odeur, la saveur, la force magnétique³. Même dans le vide, il faut considérer que la lumière existe encore. Mais elle parcourt le vide d'une manière invisible et instantanée, et ne redevient visible que dans les corps solides, à proportion même de leur solidité, c'est-à-dire à proportion que les parties poreuses y sont plus réduites.

L'optique de *Grimaldi* est fondée tout entière sur l'observation d'un phénomène nouveau, le phénomène de la diffraction. *Grimaldi* avait constaté qu'un rayon de lumière, pénétrant dans une chambre obscure par un orifice étroit, s'élargit à par-

1. Galilée a même suggéré des moyens de mesurer cette vitesse. Cf. *Discorsi e Dimostrazioni intorno a due Scienze nove*, Leyde, 1638, traduction allemande dans les *Classiques d'Ostwald*, p. 38-40.

2. *De Lucis Natura*, Amsterdam, 1662.

3. Cf. *De Lucis Natura*, p. 29 : « Sed lux, sonus, anima, odor, vis magnetica, quamvis incorpora, sunt tamen aliquid. Ut itaque fatemur non posse moveri corpus nisi corpus præsens sit, ita vicissim censemus res incorporeas, sive illæ de potentia corporis procedant, sive sua sponte subsistant, posse moveri in vacuo. »

tir de l'ouverture en s'écartant sensiblement de la ligne droite. Il avait même vérifié que cette tendance à la courbure subsiste dans les rayons de lumière qui ont subi une première diffraction. Prenant un rayon dévié par un premier orifice, il le faisait passer par un second diaphragme, et constatait qu'après le diaphragme le rayon allait en s'élargissant comme il s'était élargi dans la première expérience. De là *Grimaldi* concluait d'abord qu'il existe un quatrième mode de propagation de la lumière, la propagation par diffraction, distinct des trois modes connus avant lui, la propagation directe, la propagation par réflexion et par réfraction¹. Ensuite il montre que le concept classique du « rayon lumineux » est insuffisant. Ce concept peut servir dans les cas de propagation rectiligne, mais il est en défaut dans tous les cas où intervient la diffraction.

Si l'on veut comprendre ce dernier phénomène, il convient de se représenter la lumière comme un fluide « qui se meut extrêmement vite et parfois sous forme ondulatoire à travers les corps transparents² ». Les alternances d'ombre et de lumière qui se produisent au voisinage d'une ouverture très petite sont de tous points comparables aux hauts et aux bas qui accompagnent la propagation des ondes liquides. La distinction des corps transparents et opaques se ramène à celle de corps assez poreux pour que la substance lumineuse puisse les traverser sans dévier sensiblement de la ligne droite, et de corps compacts qui rejettent la lumière sur le côté, conformément aux lois de la diffraction. La lumière se propage comme le son, mais en un temps imperceptible, non toutefois nul à la rigueur. Une preuve de la vitesse immense avec laquelle se propagent les ébranlements lumineux est la difficulté qu'il y a de les faire dévier de la ligne droite : la lumière se comporte comme un corps lancé avec une force très grande et qui tend spontanément à poursuivre sa course rectiligne. Mais c'est un corps qui ne ressemble pas aux autres, tant par son extrême ténuité, que par son mode de génération. La lumière n'est vraiment comparable qu'au son. Elle est produite comme lui par l'agitation

1. V. *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, Bologne, 1665, p. 1.

2. *Ibid.* p. 12. Prop. II. « Lumen videtur esse quid fluidum perquam celerime et saltem aliquando etiam undulatum fusum par corpora diaphana. »

rhythmique d'une substance, et vient frapper les organes des sens après avoir traversé un milieu invisible ¹.

Après *Grimaldi*, les théories de la lumière revinrent aux explications mécaniques. L'idée d'un fluide distinct de la matière, d'un éther lumineux, fut remplacée par celle d'un fluide matériel. A vrai dire, il ne faut pas croire qu'il y ait eu là un recul de l'optique. La conception extrêmement vague d'un éther lumineux analogue aux milieux sonores ne pouvait se développer utilement dans les conditions où se trouvait la science à cette époque. L'état d'enfance où était l'Acoustique, l'incertitude qui régnait en Hydrodynamique, empêchaient que la comparaison de la lumière avec les mouvements ondulatoires pût être tout de suite féconde. Il fallait attendre que les mouvements ondulatoires connus fussent étudiés, analysés, mis sous forme mathématique, pour qu'ils pussent donner lieu à des analogies précises. Il fallait surtout attendre que les lois du pendule fussent découvertes, et qu'on y reconnût le type de tous les mouvements vibratoires. Or c'est seulement par les travaux de Newton que ce progrès devait être accompli. Il était utile qu'avant cela on risquât des comparaisons grossières soit entre la lumière et la matière proprement dite, soit entre la lumière et la matière subtile, remplissant les pores des corps ordinaires. En voulant faire du « milieu lumineux » un milieu identique aux autres, des théories comme celles de *Hooke* et de *Boyle* préparèrent indirectement la voie aux théories abstraites de l'éther.

Hooke était partisan d'une théorie cinétique de la lumière. Dans ses *Leçons sur la Puissance Restitutive* ², il expliquait que le monde observable se compose exclusivement de deux réalités, la matière et le mouvement. Jusqu'ici *Hooke* est cartésien et on pourrait le confondre avec un physicien comme *Rohault*. Mais il ajoute presque aussitôt que le mouvement et la matière ne sont pas dans la relation de qualité à substance, qu'ils peuvent se remplacer l'un l'autre, et qu'au fond ils sont peut-être identiques. L'étendue des corps, leur impénétrabilité et leur

1. Pour la théorie des couleurs de *Grimaldi*, voir ce qui a été dit ch. VIII, et aussi *F. Rosenberger*, op. cit. p. 30-33.

2. Lectures de *Potentia Restitutiva* (1678) insérées dans les *Lectioes Catherianae or a collection of Lectures by Robert Hooke* (1675).

énergie sont autant de formes de leur mouvement vibratoire. Il existe une matière extrêmement fine dans laquelle les corps nagent comme dans un fluide et qui leur donne la force et le mouvement. La distinction des corps a son fondement dans la différence des vibrations élémentaires qui caractérisent leurs particules. La lumière, comme tous les mouvements, est essentiellement ondulatoire. Elle a sa source dans l'ébranlement régulier d'un milieu uniforme (*uniforme medium*). Elle se propage par des pulsations ou ondulations simples et uniformes, d'ailleurs perpendiculaires à la direction de propagation. La réflexion, la réfraction et la coloration, sont dues à l'inégale orientation des vibrations correspondantes dans différents corps transparents. On voit que *Hooke* cherchait à concilier les théories régnantes du cartésianisme avec les vues si originales de *Grimaldi*. La théorie de la lumière est faite à la fois de l'idée que la lumière se propage dans un milieu purement matériel, comme le pensait *Descartes*, et de l'idée que son mode de propagation est toujours le mode vibratoire, comme *Grimaldi* l'avait pressenti. En cherchant à montrer comment le mouvement en général, le mouvement lumineux en particulier, peuvent s'effectuer par ondes uniformes, *Hooke* ouvrait la voie aux hypothèses nouvelles qui, partant du caractère vibratoire de la lumière, admettent un milieu dont la seule définition est d'être susceptible de vibrer.

De tous les précurseurs de Newton, celui qui a le plus fait pour préparer les théories de l'*Optique*, c'est *Robert Boyle*, le contemporain et l'ami de Newton. Il n'y a pourtant dans les ouvrages de *Boyle* rien qui soit une allusion à la théorie de l'éther. L'œuvre de *Boyle* est purement négative. Elle consiste à faire voir l'insuffisance pratique de toutes les théories de la lumière émises avant lui. Dans ses *Expériences et Considérations sur les Couleurs*¹, il critique successivement les théories d'Aristote, de Platon, de Descartes, etc. Les péripatéticiens ont commis l'erreur de considérer les différentes couleurs comme des propriétés inhérentes à la matière, propriétés qui appartiennent aux corps d'une manière latente même en l'absence

1. *Robert Boyle*, op. varia. Genève, 1680. *Experimenta et considerationes de coloribus et speciatim de natura albedinis cum observationibus de adamante in tenebris lucente*.

de la lumière, et que la lumière a pour unique effet de manifester. Les Platoniciens attribuent les couleurs à une émanation de corpuscules incandescents, et les atomistes, choqués du néant de cette explication, cherchèrent l'origine de la lumière dans le choc des atomes. Les uns et les autres se sont trompés, ainsi que l'ont fait voir les chimistes, en démontrant que les propriétés optiques des corps dépendent non seulement de leur mouvement, mais encore de leur nature chimique. L'hypothèse cartésienne est défectueuse elle aussi, car en attribuant les particularités de la lumière à l'inégale rotation des molécules, elle fait une supposition que rien ne légitime. A la place de ces différentes hypothèses, *Boyle* ne propose pas d'en substituer une nouvelle. Il faudrait pour le faire en connaissance de cause « savoir d'abord ce qu'est la lumière, si réellement elle est un corps, ou s'il ne faut pas l'appeler plutôt un mouvement des corps; si elle se propage avec une vitesse finie et par des rotations tourbillonnaires ». Ce sont là autant de questions que *Boyle* laisse irrésolues. L'esprit de prudence scientifique qu'il partage avec Newton l'empêche de feindre des hypothèses là où il n'est point de vérification possible.

L'astronomie, ainsi que l'optique, avait suscité chez certains précurseurs de Newton une hypothèse voisine de celle de l'éther. Déjà *Kepler* avait attribué les actions planétaires à certaines émanations très fines issues des masses matérielles et se propageant à travers l'espace. Ces émanations sont distinctes de celles qui produisent la lumière et comparables plus exactement à celles que nous appelons « force magnétique ». Les unes et les autres sont d'ailleurs matérielles, et *Kepler* les décrit comme des tentacules très déliés s'étendant de la surface d'un corps à celle des corps environnants.

Bouillau, en s'opposant à la conception de *Kepler* comme à une fiction inutile, était arrivé à cette conclusion que les révolutions des planètes peuvent s'opérer sans l'intervention d'un milieu. De même que le feu possède par lui-même la puissance de brûler, et que cette puissance s'exerce directement sans qu'il soit besoin d'un fluide intermédiaire, les planètes ont en elles-mêmes le principe de leur mouvement. Tout astre, par sa structure intime, possède une forme qui lui est propre, et les

scholastiques avaient raison de faire appel à cette forme pour expliquer, sans secours extérieurs, les mouvements apparents.

Plus voisin de *Kepler* que de *Bouillau*, le Florentin *Borelli* envisage l'hypothèse que les corps célestes sont reliés entre eux par des attaches matérielles. Cette hypothèse lui semble par certains côtés défectueuse, et il lui oppose l'hypothèse des courants éthérés qui transportent autour du soleil les planètes nageant dans un océan d'éther. Mais cette conception ne le satisfait pas encore, et il lui préfère l'idée d'une attraction naturelle exercée sur tous les astres par le soleil. Nous voyons ici distingués pour la première fois deux points de vue qui étaient auparavant confondus et dont l'opposition va être pour Newton une source de difficultés sans fin. A partir de *Borelli* on ne pourra plus assimiler, sans explication préalable, l'action d'un astre sur un autre, action produite par une force directe, et l'action d'un astre sur un milieu immatériel qui transmet des réactions à un autre astre. L'opposition de la théorie de l'éther et de la théorie des actions à distance a son origine dans les remarques de *Borelli*.

Hooke avait appliqué à l'astronomie comme à l'optique sa théorie des vibrations élémentaires. L'action de la terre sur les planètes comme l'action des corps sur la lumière a son origine dans des mouvements vibratoires. Supposons que toutes les parties de la terre effectuent des vibrations très courtes et très rapides, toutes orientées vers le centre de la terre. Le globe terrestre dans son ensemble subira des contractions et des dilatations, qui se communiqueront d'abord, sous forme de pulsions, à l'éther emprisonné dans la matière du globe et ensuite à l'éther ambiant¹. De là des ondes sphériques progressives, qui s'étendront du centre de la terre à des distances aussi grandes qu'on voudra. Ce rayonnement se propage sans altération tant qu'il traverse les espaces vides. A la ren-

1. Il est intéressant de comparer cette théorie de *Hooke* à la théorie des « sphères pulsantes » de *Bjerknes* (Cf. Rapports du Congrès de Physique, Gauthier-Villars, 1900). L'effort tenté par ce physicien consiste à donner de la notion d'éther une interprétation hydrodynamique et à montrer que les pulsations de sphères infiniment petites, plongées dans un fluide parfait, suffisent à rendre compte de la propagation de forces variant comme l'inverse du carré de la distance et satisfaisant d'ailleurs aux équations de Herz.

contre des masses matérielles, par exemple des planètes, il sera absorbé sous forme cinétique et donnera lieu aux mouvements qu'on attribue à la gravitation. On voit que par son astronomie, bien plus que par son optique, *Hooke* préparait la voie aux théories de l'éther. Assurément, il laissait dans l'ombre la question de savoir si le milieu cosmique à travers lequel se communiquent les actions planétaires est matériel ou non. Malgré cela, en insistant sur le fait que la force d'attraction ne peut s'exercer à distance, qu'elle doit se propager dans un temps fini à travers un milieu partout répandu, *Hooke* allait plus loin que *Borelli*, et montrait que l'hypothèse de l'éther est rendue nécessaire par l'absurdité des actions à distance.

III

Il pourrait sembler, d'après ce qu'on vient de dire, que la théorie de l'éther se trouvait à l'état latent chez un grand nombre de précurseurs de Newton, et que celui-ci, dans la mesure où il s'en sert, n'avait qu'à l'emprunter soit aux physiciens, soit aux astronomes de son temps. Lorsqu'une idée a fait son chemin dans la science, nous avons une tendance excessive à ne voir, avant le moment où elle réussit, que les indices de son succès, de même qu'après la chute d'une hypothèse, nous trouvons partout les signes avant-coureurs de sa décadence. En réalité, l'évolution des idées scientifiques se fait d'une façon plus irrégulière. Les allusions à un éther cosmique, à un éther luminifère, qui nous frappent dans les ouvrages de *Grimaldi* ou de *Hooke*, demeurent en somme à l'état sporadique. Aucun des savants qui ont précédé Newton n'avait su donner à l'hypothèse de l'éther la forme positive qui lui convient, ni y rattacher des théorèmes systématiques.

Par contre, la supposition d'un fluide répandu d'une manière continue dans les espaces qui semblent vides, fluide qui servirait de substrat aux manifestations de la lumière et de la gravité, était directement contraire au système le plus répandu au *xvii^e* siècle, à la physique cartésienne. Il faut comprendre que le mécanisme cartésien, malgré les distinctions qu'il établit entre les différentes sortes de matière, était hostile par nature à l'hypothèse de l'éther. Il est facile de s'en rendre compte, si

l'on se rappelle comment Descartes introduit dans la science physique l'idée de la « matière subtile ». Son but est de découvrir des lois qui expliquent la communication des mouvements. Mais le mouvement, comme il a été dit, ne se transmet dans le système de Descartes que par le choc des corps. Descartes n'admettait pas d'autres mouvements que ceux dont est susceptible un solide parfait, c'est-à-dire des translations et des rotations. Ces mouvements restent invariables tant que le corps est à l'abri des chocs. Au moment de la rencontre avec un autre corps, il se fait entre les masses un partage de mouvement régi par des lois cinématiques. Or le bon sens nous fait connaître journellement des mouvements qui ne sont ni des rotations ni des translations. Nous connaissons les déformations élastiques dont un corps mou est susceptible, nous connaissons les dilatations continues que présente une barre de métal chauffée, nous connaissons la propagation du son et celle de la lumière. Expliquer ces différents phénomènes, cela signifiait, aux yeux de Descartes, les ramener à une combinaison de chocs s'opérant entre corps solides. Mais pour cela il est nécessaire de faire intervenir, à côté des solides qui tombent sous nos sens, d'autres particules ou molécules identiques aux solides par leurs propriétés, mais en différant par la petitesse de leurs dimensions.

De là cette matière subtile cartésienne dont la fausse analogie avec l'éther a pu frapper certains commentateurs. Elle s'en distingue pourtant par deux traits essentiels. D'abord elle est discontinue par définition. Elle se compose d'éléments infinitésimaux, diversement figurés, mais isolés les uns des autres¹, et ne pouvant avoir de relation entre eux, tout comme les corps finis, que par le choc. La matière subtile ne constitue donc pas, à proprement parler, un « milieu ». Elle n'est pas le siège d'actions de contact se propageant d'une manière continue par un mécanisme *sui generis*. On n'y constate que des actions mécaniques, identiques à celles de la matière vulgaire, et se transmettant d'instant en instant par suite de chocs discontinus.

1. De nos jours, grâce aux progrès des mathématiques, et comme l'a fait voir M. H. Poincaré, il est devenu presque indifférent à la physique de faire appel à un fluide continu ou à un assemblage de molécules isolées. en était tout autrement à l'époque de Newton.

C'est par le grand nombre de heurts réitérés que la matière subtile donne l'illusion de transformations continues. En réalité, pour un observateur dont les sens seraient beaucoup plus fins que les nôtres, elle présenterait un spectacle identique à celui du monde mécanique : partout des translations et des rotations de solides invariables, jamais une dégradation continue des vitesses ou des efforts.

En second lieu, la matière subtile cartésienne ne sert jamais de véhicule à la force, mais seulement au « mouvement ». Il suffit de lire la théorie du magnétisme ou celle de la pesanteur, telle que la présentent les Principes, pour se convaincre que la matière subtile n'est jamais conçue par Descartes que comme un engrenage cinématique. C'est parce que certaines parties grossières de la matière engrènent avec d'autres plus petites, celles-ci avec d'autres et ainsi de suite, qu'une transmission du « mouvement », c'est-à-dire de la vitesse, est possible dans l'univers. Mais dans cette transmission la matière subtile joue un rôle purement instrumental. C'est par elle que certains mouvements peuvent être augmentés ou diminués dans un rapport donné, c'est par elle que la quantité d'action émanée d'un centre matériel peut atteindre un autre centre matériel, mais jamais cette matière n'est le siège de forces, jamais elle ne produit par elle-même d'actions.

Les théories de l'éther supposent au contraire que le fluide hypothétique remplissant l'univers transmet non seulement le mouvement, mais la force. Il y a plus, dans les théories modernes comme celle de Maxwell ou de Herz, c'est l'éther qui par ses tensions est la véritable source de l'énergie physique. Cette énergie se répartit ensuite à la surface des corps matériels ou pénètre à leur intérieur de façon à affecter nos sens. Il n'en est pas moins vrai que ces corps matériels ne sont pas la véritable origine de la force. Celle-ci préexiste dans un milieu invisible, sous forme potentielle ou virtuelle, et les corps visibles qui limitent ce milieu sont seulement une occasion pour elle de se manifester. En d'autres termes le rôle de l'éther n'est pas simplement de servir d'organe de transmission pour des propriétés cinématiques. Il est le réceptacle d'actions dynamiques, qu'il peut suivant les cas emmagasiner ou propager. Assurément la théorie de l'éther n'a pu prendre dès le

début la forme précise que lui donnent Maxwell ou Helmholtz. Mais dès le début elle s'est opposée au mécanisme superficiel de Descartes. Il a été entendu que l'éther devait non seulement posséder la mobilité, mais l'énergie qui met les corps en mouvement. Pour rester fidèle au vocabulaire philosophique du *xvii^e* siècle, on dira que l'éther a été conçu dès d'abord comme la cause efficace des actions matérielles, et non pas seulement comme leur cause instrumentale.

C'est pour cette raison que les Cartésiens sont demeurés obstinément hostiles à l'introduction dans la physique de fluides immatériels. Sur ce point ils étaient d'accord avec les Gassendistes, leurs ennemis ordinaires. Les uns et les autres se refusaient à admettre qu'en dehors de l'étendue ou des atomes pût exister « quelque chose » d'objectif, un milieu où se propagent autrement que par le choc des actions physiques. C'est ainsi que *Huyghens*, et plus tard *Bernouilli* chercheront, même après le succès de la physique newtonienne, à revenir au choc des corpuscules comme à l'unique explication positive. Parmi les atomistes, le géomètre *Lesage* reprendra la tentative de *Fatio de Duillers*, et cherchera à déduire l'attraction newtonienne elle-même de la cinématique des corps solides. *Leibniz* et *Malebranche*, à l'époque où écrit Newton, considèrent comme absurde l'hypothèse d'un éther impondérable et veulent fonder sur la mécanique rationnelle tout ce que nous pouvons savoir de la physique. On voit que l'hypothèse de l'éther n'était pas, à l'époque de Newton, celle qui était le plus en faveur dans la science, et, même après que Newton aura expliqué dans quel sens on peut l'utiliser, il restera des adversaires irréductibles qui se refuseront à suivre sa trace. Si Newton a fait dans sa physique une place restreinte, mais réelle, à la théorie de l'éther, ce n'est donc pas par imitation de ce qui se faisait autour de lui. Cela tient à ce que la physique atomistique présentait pour lui des vices irrémédiables, que le cartésianisme n'avait pas su éviter.

IV

La théorie de *Gassendi* comme celle de *Descartes* considère le phénomène de la réflexion comme un cas particulier du choc

des corps. Lorsque des corpuscules animés de mouvements extrêmement rapides rencontrent la surface d'un corps quelconque, deux phénomènes peuvent se produire. Ou bien les molécules incidentes seront assez petites et les pores de l'obstacle assez nombreux pour qu'il y ait passage des unes au travers des autres : c'est le cas de la réfraction ou de la transmission. Dans l'autre cas les ouvertures par où la lumière pourrait pénétrer sont trop rares ou trop étroites. Le rayon lumineux sera réfléchi par la réaction des particules solides contre lesquelles il vient se heurter. Dans les deux cas on peut se passer de l'hypothèse d'un milieu fluide uniformément répandu dans tout l'univers et qui serait le véritable lieu des perturbations lumineuses. Les lois mécaniques du choc suffisent à tout expliquer.

Newton réfute dans le second livre de l'*Optique* la théorie moléculaire de la réflexion ¹. Cette théorie lui semble contraire au principe de continuité, lequel doit être observé en optique comme dans toutes les parties de la physique. D'abord, en ce qui concerne le pouvoir réflexif des corps, il est impossible de comprendre pourquoi le même corps est réfléchissant lorsqu'il est poli et non réfléchissant lorsqu'il est rugueux. Le nombre des corpuscules qui composent sa substance, la proportion relative des vides et des pleins, demeurent très sensiblement les mêmes. Pourtant dans le premier cas la lumière est totalement réfléchie, dans le second elle n'est diffusée qu'avec peine et le corps l'absorbe à peu près entièrement. Il est donc impossible que les chocs isolés de molécule à molécule soient la véritable cause de la réflexion. Il faut que la réflexion et la réfraction dépendent d'une action d'ensemble, d'une action de masse, exercée par le corps réfléchissant sur le milieu qui propage la lumière. De plus les variations du pouvoir réflexif avec l'incidence sont incompatibles avec l'idée de la continuité si l'on se

1. Il importe de distinguer entre les théories moléculaires en général et la théorie de l'émission en particulier. Même à l'époque où Newton se rapproche le plus des théories ondulatoires, nous verrons que la théorie de l'émission subsiste dans son *Optique*. Mais l'émission de particules lumineuses provenant des corps matériels laisse possible l'ébranlement continu du milieu, et est même conciliable avec la propagation d'ondes éthérées. Au contraire, les théories moléculaires de Descartes et des atomistes prétendent donner une explication intégrale par le choc seul. C'est contre des théories de ce genre que s'élève Newton.

range aux hypothèses corpusculaires. « On ne peut arriver à feindre par l'imagination que la lumière tombant sous une certaine incidence rencontre dans l'air assez de passages pour permettre la transmission intégrale, alors que, sous une incidence différente, elle ne rencontre absolument plus que des parties solides et éprouve la réflexion totale¹. » De quelque façon qu'on cherche à expliquer la propagation de la lumière en restant sur le terrain de *Descartes* ou de *Gassendi*, on arrive à mettre dans la nature une discontinuité inacceptable. Dans le cas de la réfraction on sera obligé de concevoir les corps comme parfaitement poreux, dans le cas de la réflexion on les regardera comme compacts, et entre ces deux cas il n'est pas de transition possible, puisqu'un même corps peut donner lieu tantôt aux phénomènes de réflexion, tantôt à ceux de réfraction, et qu'une même lumière, suivant les circonstances, est tantôt transmise, tantôt réfléchie.

La vérité est d'après Newton que les phénomènes optiques dépendent non seulement des propriétés moléculaires de la matière, mais de celles des espaces intermatériels. Les couleurs naturelles ne sont-elles pas la preuve qu'à l'intérieur des substances matérielles se passent des phénomènes de réfraction sélective, et cette réfraction pourrait-elle avoir lieu si les intervalles qui séparent les pores n'étaient pas remplis d'un milieu plus dense ou moins dense que le milieu matériel² ? Grâce à ce milieu on peut concevoir que les rapports de densité entre la matière et ce que nous nommons à tort *le vide* varient d'une manière continue suivant les conditions où l'on se trouve. Dans certains cas un corps absorbera seulement les rayons rouges, et prendra par suite une couleur violette. Lorsque la matière sera répartie dans l'éther avec une densité moindre ou plus grande, on passera d'une manière continue du violet au bleu, au vert, au jaune, au rouge. On passera de même du cas de la réfraction à celui de la réflexion par l'augmentation continue de la densité de l'éther. D'une manière générale, la continuité physique sera de nouveau respectée, parce qu'à la considération des chocs nous avons substitué celle des actions d'ensemble.

1. V. *Opt.* L. II. P. III. Prop. VIII.

2. *Ibid.* Prop. III.

A aucun moment Newton n'a admis l'optique cartésienne, mais il ne s'est pas élevé tout d'un coup à sa conception personnelle de la lumière. Si la théorie des tourbillons moléculaires ne l'a jamais satisfait complètement, pas plus en physique qu'en astronomie, ce serait une erreur de croire qu'il lui oppose tout de suite une théorie de l'éther expliquant à la fois la propagation de la lumière et les attractions célestes. D'abord Newton n'a entrepris qu'assez tard ses recherches de mécanique céleste. Jusqu'en 1674, il semble s'être occupé exclusivement de mathématiques et d'optique. Dans ce domaine il y avait trop à faire par la voie expérimentale pour qu'on pût songer simultanément à l'édification d'une théorie. De longues années s'écoulèrent pour Newton dans les recherches de laboratoire avant qu'il communiquât à la Société Royale de Londres sa Théorie nouvelle de la lumière et des couleurs. Les premiers travaux de Newton reposent sur une conception de l'éther extrêmement vague et confuse, plus voisine des idées anciennes qu'on ne pouvait l'attendre tout d'abord. La lumière s'y trouve encore décrite comme un mouvement quasi-matériel, et le mot d'éther n'est pas employé. Dans une seconde phase, qui est postérieure à 1671, et qui est marquée principalement par la polémique de Newton avec Hooke, l'optique newtonienne s'oriente de plus en plus vers les théories vibratoires et les théories de l'éther. Enfin, à partir de la publication des *Principes* et jusqu'à la fin de sa vie, Newton cherche un moyen de concilier la théorie de l'émission et celle des ondulations. Ce moyen lui est suggéré par sa théorie de la gravitation et de l'éther. Mais cet éther n'est ni une notion métaphysique, ni un dogme expérimental. C'est une véritable hypothèse, au sens newtonien, c'est-à-dire un auxiliaire de la science positive.

V

La communication faite par Newton le 8 février 1672 à la Société Royale de Londres¹, était destinée à faire connaître au public les expériences nouvelles sur la dispersion. Newton y

1. V. Ed. Castillon, T. II, p. 280 sqq.

résume les recherches qu'il a faites sur l'analyse et la synthèse des couleurs, et insiste principalement sur le rapport qui lie la réfrangibilité à la coloration. Il eût été permis à Newton de s'en tenir là et de ne risquer aucune hypothèse sur l'essence intime de la lumière. Mais à cette époque Newton n'avait pas encore eu à souffrir des polémiques qui devaient troubler son repos, il n'avait pas encore pour l'hypothèse cette défiance qui devait se traduire bientôt dans tous ses ouvrages. On comprend alors qu'il s'étende avec une certaine complaisance sur l'utilité qu'on peut tirer de ses expériences pour une explication philosophique de la lumière. Nous avons expliqué, dit-il, que la lumière est quelque chose d'hétérogène. Selon les conditions dans lesquelles on l'observe, on peut y découvrir des couleurs différentes ; le blanc, qui semble la couleur la plus simple, est au fond la plus compliquée de toutes. Les couleurs du spectre sont caractérisées par un attribut invariable. Elles possèdent par rapport à un prisme donné un degré de réfrangibilité bien déterminé, qui ne change pas par des réfractions successives. Elles jouent par rapport à la lumière le rôle des qualités par rapport à la substance. La lumière possède la qualité d'être rouge lorsqu'elle est peu réfrangible, et sa teinte passe du rouge au violet à mesure que la réfrangibilité augmente. Il y a là quelque chose d'analogue à ce qu'on rencontre en acoustique. L'air possède la propriété d'être sonore de différentes manières et les sons musicaux sont comme des qualités dont la matière ébranlée est le sujet. Selon que l'ébranlement est plus ou moins vif, la hauteur du son est plus ou moins grande.

Mais alors il y a bien des questions dont les philosophes ont cherché vainement la réponse et qui vont se trouver résolues. Les couleurs peuvent-elles exister dans les ténèbres ? Ou n'y a-t-il coloration que là où il y a d'abord lumière¹ ? Newton laisse entendre que les couleurs sont une manifestation accessoire dont la lumière est la condition primordiale. Les couleurs sont-elles des qualités de l'objet vu ? sont-elles au contraire des qualités de la lumière ? L'idée de Newton est que les couleurs préexistent dans la lumière incidente, avant que la structure particulière des corps, en donnant lieu à des réflé-

1. V. *Theoria de Luce et Coloribus*, p. 291.

xions sélectives, les mette en évidence. Il faut donc dire que la couleur est un attribut de la lumière, comme le mouvement est un attribut du corps qui se meut. Mais tout attribut suppose nécessairement et immédiatement un sujet. Dans le cas de la lumière, le rôle de substance revient aux rayons lumineux. N'allons pas dire que ces rayons eux-mêmes sont des « qualités »¹. Il ne peut pas se faire qu'une qualité soit le sujet d'une autre qualité. Une telle qualité serait substance et ne différerait des substances ordinaires que de nom. Les corps matériels ne sont appelés substances que parce qu'ils donnent lieu à des apparences sensibles. Parmi ces apparences, l'impénétrabilité, l'étendue, la dureté, ont frappé tout d'abord l'esprit humain, et c'est pour cette raison qu'on a réduit tout d'abord la substance à être dure, étendue, impénétrable. Mais les expériences de Newton ont fait voir que les propriétés chromatiques accompagnent aussi nécessairement la lumière que les propriétés mécaniques font pour la matière. Nous avons donc autant de raison d'appliquer le concept de substance à l'une qu'à l'autre. La lumière a une réalité substantielle, bien qu'elle se manifeste à nos organes par la seule couleur.

D'ailleurs il est une raison péremptoire qui doit nous faire envisager la lumière comme une substance, c'est son hétérogénéité absolue². Si une qualité peut être clairement conçue, c'est toujours parce qu'elle est simple et exclusive de toute autre. Le doux, le pesant, le froid sont des qualités, car ils sont incompatibles avec les qualités opposées. Mais la lumière n'est ni simple, ni homogène. C'est par essence un aggrégat, un mélange de qualités hétérogènes : le rouge, le vert, le violet y coexistent sans se détruire. Ils superposent seulement leurs effets dans la lumière blanche, sauf à se dissocier dans le cas de la dispersion. C'est là pour Newton un signe indéniable que la lumière est une substance objective.

Maintenant, d'où savons-nous que la substance lumineuse est distincte de la substance matérielle ? Qu'est-ce qui nous prouve

1. Cf. *Theoria de Luce et Coloribus* : « Quomodo radios ipsos qualitates esse putare possumus, nisi forte qualitas qualitatis subjectum esse potest, illamque sustinere, quod esset eam reipsa vocare substantiam. »

2. *Ibid.* « Quis unquam putarit qualitatem esse aggregatum heterogeneum quale Lux esse comperta est ? »

que cette réalité cachée ne se ramène pas à un jeu de molécules ? C'est ce qu'ont pensé les atomistes et la plupart des cartésiens. Sur ce point les assertions de Newton sont extrêmement réservées. Il n'affirme pas dogmatiquement que la lumière soit corporelle, il ne laisse pas encore supposer qu'il puisse exister un milieu incorporel dont l'action produise la lumière. « Nous sommes certains que la lumière est une substance ». Mais il est plus « difficile de déterminer avec exactitude ce qu'est cette substance ». Il se peut que la lumière soit un corps, mais le contraire est également possible, et Newton se garde de décider entre des hypothèses indifférentes. « Je ne veux pas, dit-il, mélanger ce qui est incertain à ce qui est certain ¹ ». Tenons-nous en au fait, qui ressort, sans contestation possible, des recherches expérimentales elles-mêmes. La lumière existe ailleurs que dans notre conscience ou dans les corps qu'elle modifie. Elle possède une réalité sui generis, impossible à étudier par les moyens que nous possédons, mais qui est substantielle au même titre que la réalité tangible.

La *Théorie de la Lumière et des Couleurs* fut publiée le 19 février 1672 dans les *Philosophical Transactions*, en même temps que la Société Royale instituait une commission spéciale pour vérifier les expériences de Newton. Cette commission se composait de *Seth Ward*, de *Boyle* et de *Hooke*, mais c'est à l'influence de *Hooke* qu'on peut rapporter toutes ses décisions. Il est remarquable que le point sur lequel portèrent les critiques principales de *Hooke* ne fut pas celui sur lequel Newton avait le plus insisté et qui faisait à ses yeux tout le prix de son travail, le lien constant et invariable qui existe entre la couleur d'une part, la réfrangibilité de l'autre. Ce sont les hypothèses semi-physiques, semi-métaphysiques, que Newton avait timidement risquées à la fin de son mémoire, qui attirèrent les réfutations passionnées de *Hooke*. C'est là un point qui ne peut se comprendre si l'on ne se réfère pas au caractère entier de *Hooke*, jaloux avant tout de sauvegarder de son mieux ses propres hypothèses ². Newton s'était contenté de faire voir qu'il y avait

1. *Ibid* « Sed difficillius est accuratius determinere quid sit lux ; quomodo refringatur, et quibus modis aut actionibus in mentibus nostris Colorum phantasmata progignat. Ego vero incerta certis miscere nolo. »

2. Consulter pour plus de détails l'excellent chapitre de l'ouvrage de

corrélation de fait entre la réfrangibilité et la couleur. Cette constatation positive ne satisfait pas *Hooke*. Par quel mécanisme la couleur résulte-t-elle des variations de la réfrangibilité? Quel est le mode d'existence des rayons monochromatiques au sein d'un rayon naturel? De quelle espèce est cette substantialité dont Newton avait fait le propre de la lumière? Telles sont les questions que le rapport de *Hooke* place au premier plan.

Il reproche d'abord à Newton d'avoir dit que la lumière est un corps. C'est là une conception tout à fait invraisemblable même au point de vue de l'optique newtonienne. Admettons en effet, et *Hooke* est disposé à le croire, que la lumière solaire soit un agrégat de lumières infiniment diversifiées. Pourrions-nous supposer raisonnablement qu'il existe une variété infinie de corps, correspondant à l'infinie variété des couleurs, et coexistant dans une substance unique que nous appellerons lumière? C'est là, sinon une contradiction, du moins une conception contraire à toutes les analogies. Parmi les précurseurs de Newton, il en est qui ont assimilé la lumière à un corps. Mais ceux-là se sont gardés de dire que ce corps était composé d'autres corps. Ils ont dit que la lumière est une substance homogène, dont les couleurs dérivent simplement par des différences de compression ou de raréfaction. Une semblable théorie explique les phénomènes au moins aussi bien que celle de Newton.

En second lieu, il est bien difficile d'admettre, d'après *Hooke*, que le bleu, le vert, le rouge, existent tels quels dans la lumière blanche. Autant dire que les sons de la gamme, issus d'un jeu d'orgue, existaient tout formés dans la caisse de la soufflerie. On peut montrer, et *Hooke* lui-même croit l'avoir fait dans sa *Micrographie*, que les couleurs, tout comme les sons, naissent d'un trouble accidentel apporté au mouvement. Il ne faudrait pas dire alors qu'elles sont les qualités originelles d'une substance inconnue, mais des apparences, produites après coup, par la rencontre des corps matériels.

Enfin *Hooke* ne conçoit pas qu'en mélangeant d'une manière

uniforme tous les corps de l'univers, on obtienne un corps blanc. C'est pourtant ce qui devrait résulter de la théorie de Newton, pour qui la lumière blanche est une lumière composite, un mélange en proportions irrégulières de rayons différents. Pour toutes ces raisons, *Hooke* refuse de reconnaître la supériorité de la théorie newtonienne. Les théories ondulatoires qu'il a développées dans la *Micrographie* lui semblent expliquer les phénomènes les plus compliqués de l'optique, même les colorations si délicates des lames minces. Il n'y a donc aucun motif de se ranger à l'hypothèse substantialiste de Newton, puisque l'hypothèse cinétique de *Hooke* rend, avec une part d'arbitraire moindre, exactement les mêmes services.

La réponse de Newton fut lue le 12 juin 1672 à la Société Royale, mais ne parut dans les *Philosophical Transactions* qu'à la fin d'octobre¹. Elle diffère de ton très sensiblement de sa première communication. Choqué de voir critiquer dans son travail la partie qu'il en jugeait lui-même la plus hypothétique et la moins importante, craignant de voir s'éterniser autour d'idées vagues une polémique inutile, Newton observe à partir de ce moment, dans tout ce qui dépasse la certitude expérimentale, une réserve volontairement excessive. Un premier résultat de ce changement d'attitude fut d'amener Newton à nier formellement la matérialité de la lumière et à exclure de la physique positive toute recherche concernant l'essence des couleurs. « On m'attribue, dit-il, comme une affirmation dogmatique une opinion que j'ai hasardée à la fin de mon *Traité*, mais avec les plus expresses réserves, à savoir que la lumière est un corps, et l'on prétend de cette affirmation déduire la conclusion choquante que toutes les couleurs ou tous les degrés de lumière doivent être des corps². Or il est vrai que de ma théorie j'induis que la lumière est corporelle, mais je ne l'affirme pas sans hésitation, comme le fait voir le mot « peut-être » (fortasse). Je ne la propose, en fin de compte, que comme un corollaire vraisemblable de ma doctrine, nulle-

1. V. Ed. Castillon, T. II, p. 335 et *Phil. Trans.*, n. 88, p. 5084.

2. Cf. *Hooke* cité par Newton, *Phil. Trans.*, n. 88. « Ast, recepta prima ejus suppositione, quod Lux est corpus, et quod quot in ea sunt colores aut gradus, tot esse possunt corpora, quæ omnia simul composita gignunt Albedinem, etc..... »

ment comme une hypothèse fondamentale servant à l'étayer, moins encore comme une partie intégrante de la doctrine elle-même. Il est surprenant que mon critique, après avoir vu avec quelle assurance j'affirmais tout ce qu'il y a de positif dans ma théorie, ait pu me croire assez inconséquent pour donner à toute la théorie un fondement problématique. Si j'avais adopté formellement une hypothèse de ce genre, je l'eusse fait connaître. Mais je savais fort bien que les propriétés de la lumière dont mon *Traité* donne l'explication peuvent se comprendre en quelque manière non seulement par l'hypothèse qui m'est attribuée mais par une infinité d'autres. En conséquence j'ai pris le dessein de les éviter toutes. Je ne parlerai plus de la lumière que d'une manière générale et abstraite. J'entendrai par ce mot « quelque chose » qui émane des corps lumineux et se propage dans une direction quelconque en ligne droite. Mais je renonce à déterminer ce qu'est ce « quelque chose », mélange confus de puissances différentes ou réalité substantielle¹.» En ce qui concerne les couleurs, Newton dit aussi que désormais il ne hasardera plus à leur sujet d'hypothèse mécanique. Il les considérera comme des données de fait, des propriétés de la lumière révélées par les sens.

Mais Newton va plus loin. Ceux qui lui font un reproche d'avoir fondé son optique sur la supposition d'une substance lumineuse émise par les corps incandescents prétendent y substituer une hypothèse cinétique. A la place d'une matière en mouvement, ils veulent qu'on admette un éther vibrant. Il n'y a pas, d'après Newton, entre ces deux conceptions de la lumière l'abîme qu'on se plaît à y voir. La théorie matérialiste de la lumière, même sous la forme corpusculaire que Newton acceptait encore à ce moment, est parfaitement conciliable avec la théorie ondulatoire de Hooke. Les vibrations éthérées sont aussi utiles, aussi nécessaires dans l'une que dans l'autre. Supposons que les rayons de lumière soient des corpuscules émis de toutes parts par les substances incandescentes. En tombant sur une surface réfléchissante, ou réfringente, ces

1. Cf. *Resp. ad nonnullas consid.* E. Castillon p. 339. « Ideo eas omnes (hypotheses) vitare decrevi, et de luce loquens verbis uti generalibus, eam abstracte considerans, ut *nonnihil* quod ex lucidis corporibus quoquo-versus per rectas lineas propagatur, non determinans quid id esset, an confusa dissimilium potestatum mixtura, an ens quodcumque. »

corpuscules doivent exciter des vibrations dans l'éther. Ne voyons-nous pas une pierre qu'on jette dans l'eau produire des ondes qui se propagent sans transport de matière ? Ces ondes peuvent varier d'amplitude ou d'écartement. Il en est de même dans le cas de la lumière. Des molécules de matière peuvent exciter dans l'éther des ondes régulières, dont les particularités pourront correspondre aux différentes couleurs. Il n'y a donc aucun intérêt scientifique à substituer l'hypothèse de *Hooke* à celle que proposait Newton. Elles expliquent toutes deux les phénomènes d'une façon fort analogue. L'adhésion exclusive donnée à l'une d'elles ne peut provenir que de l'étroitesse d'esprit de ceux qui attribuent aux hypothèses une valeur absolue.

Au moment même où Newton venait de répondre aux arguments de *Hooke*, surgit contre sa théorie un nouvel adversaire, le plus illustre des physiciens de cette époque, *Christian Huyghens*. Avec *Huyghens*, il semble au premier abord que la discussion dévie de son objet. L'objection capitale qu'on ait élevée contre Newton est, s'il faut en croire *Huyghens*, la suivante : existe-t-il, comme le dit Newton, une infinité de couleurs, ou faut-il en admettre deux seulement, dont toutes les autres sont des mélanges ? Cette question semble aujourd'hui assez étrangère au débat principal, lequel porte sur l'existence ou la non-existence d'un milieu élastique propageant les ondes lumineuses. Mais historiquement il y a un lien étroit entre les deux problèmes. La théorie d'un éther vibrant, telle qu'elle était présentée par *Hooke* (et *Huyghens* sur ce point n'était pas éloigné de l'opinion de *Hooke*), avait été suscitée par l'étude de la double réfraction, qui met en évidence une certaine dissymétrie dans le mouvement vibratoire qui constitue la lumière. *Hooke* soutenait qu'un rayon de lumière présente deux faces ou deux côtés, c'est-à-dire que les vibrations correspondantes s'effectuent dans deux directions opposées. A l'une de ces espèces de vibrations correspondait pour lui la couleur rouge, à l'autre la couleur bleue. Comme il ne peut y avoir plus de deux directions de vibration le long d'un rayon, *Hooke* en concluait que le rouge et le bleu sont les seules couleurs fondamentales et qu'il est possible de ramener toutes les autres à un mélange défini des premières. *Huyghens*, partant du fait que le jaune et le bleu peuvent servir

à composer le vert, admettait qu'il doit exister un mode de composition analogue pour toutes les couleurs, et pensait avec *Hooke* que dans la nature ne doivent se propager indépendamment que deux sortes de vibrations¹.

C'était au contraire un des premiers résultats de la théorie de la dispersion newtonienne que l'infinie multiplicité des couleurs. Gardant le vocabulaire de *Hooke* et de *Huyghens*, mais changeant entièrement le sens de leurs expressions, Newton reconnaissait encore des couleurs *fondamentales* et des couleurs *composées*. Les couleurs composées sont celles que nous appelons aujourd'hui couleurs d'ordre supérieur. Elles proviennent de la superposition de phénomènes d'interférence. Les couleurs fondamentales sont celles que fournit l'analyse de la lumière solaire et qui sont caractérisées sans équivoque par leur longueur d'onde. Comme les longueurs d'onde et les indices varient d'une manière continue d'un bout à l'autre du spectre, il faut bien que les couleurs primitives soient en nombre infini. En vain Newton avait-il essayé d'abord de décomposer l'étendue du spectre en intervalles uniformes correspondant aux tons de la gamme². Il ne tarda pas à voir ce que cette assimilation avait d'arbitraire, et dans l'*Optique* il admit expressément l'infinité et l'irréductibilité des couleurs. C'est là pour lui un fait d'expérience indépendant de toute hypothèse. Que ce fait soit aisé ou malaisé à concilier avec la théorie de *Hooke*, laquelle attribue au rayon lumineux deux côtés seulement, c'est un point dont Newton ne peut se soucier. Il lui suffit que le fait existe. Mais des esprits moins positifs, comme *Hooke* et *Huyghens*, pourront chercher à interpréter ce fait dans la théorie ondulatoire, et montrer qu'il est incompréhensible dans une théorie substantielle de la lumière.

Newton répond indirectement à *Huyghens* (lequel avait gardé l'anonymat), dans une lettre adressée à *Oldenburg*, l'éditeur des *Philosophical Transactions*, en date du 3 Juillet 1673³. Le ton de cette lettre est tout à fait différent de celui de la réponse à *Hooke*. Instruit par l'expérience du danger qu'il y avait à

1. Cf. *Phil. Trans.*, n. 96, p. 6086, juill. 1673.

2. V. *Lect. Opt.*, L. II, P. I, observ. XIV, p. 156.

3. V. Ed. Castillon, T. II, p. 361.

exprimer de pures hypothèses, Newton professe ouvertement son indifférence pour les théories moléculaires. Il semble bien que malgré la réserve de son langage Newton ait encore à cette époque une préférence secrète pour les théories de l'émission et les conceptions matérialistes de la lumière. Mais, moitié par esprit de conciliation, moitié par goût des vérités positives, il semble disposé à croire qu'on peut expliquer les faits tout aussi bien dans l'hypothèse d'un éther vibrant. D'ailleurs il n'abandonne aucun des résultats de sa propre méthode, et au point de vue empirique ne fait aucune concession à *Huyghens*.

On prétend, dit-il, pour des raisons à priori, que toutes les couleurs doivent dériver du jaune et du bleu. Au lieu de faire de cette proposition un axiome de la théorie ondulatoire, il serait plus sage de prendre la lumière telle qu'elle est, de la décomposer en radiations élémentaires, et de voir si parmi ces radiations il est possible d'en choisir deux, le bleu et le jaune, avec lesquelles on peut reconstituer le reste. Or cette tentative, dit Newton, je l'ai faite, et elle m'a fourni des résultats négatifs. J'ai constaté que parmi les couleurs il y en a un grand nombre qui sont irréductibles au jaune et au bleu, savoir toutes celles que j'appelle « primitives » (*primigeniæ*) et qui sont contenues dans la lumière naturelle. Ces couleurs sont en nombre infini, et c'est là une objection qu'on fait à ma théorie. Mais la théorie des ondulations, telle que la présentent *Hooke* et *Huyghens*, choque bien davantage le sentiment de la continuité. Les différents milieux que nous connaissons, l'air, la mer, sont capables de propager des mouvements infiniment variés. Les sons, qui circulent dans l'atmosphère, ne sont pas, comme le vulgaire le croit, limités à un petit nombre d'intervalles comme ceux dont on se sert en musique. Il y a des ondes de toute espèce, et qui présentent toutes les différences possibles de hauteur et d'intensité. Les ondulations qu'on excite dans l'eau sont aussi susceptibles de varier d'une manière continue selon les conditions où on les produit : leur hauteur, leur profondeur, leur vitesse d'expansion peuvent prendre entre de larges limites toutes les valeurs possibles. Pourquoi veut-on que le domaine de l'optique soit en dehors de la loi de continuité ? Même en se plaçant au point de vue de *Huyghens*, il semble naturel que le milieu éthéré puisse propager des ondes en nombre infini, comme les

milieux fluides ordinaires : « Il me semblerait merveilleux que les diverses parties des corpuscules constituant un corps lumineux, parties qu'on doit supposer douées de figures différentes, de grandeurs différentes, de vitesses différentes, ne pussent imprimer à l'éther contigu que deux sortes de mouvement, ou que, d'une façon ou d'une autre, on pût se contenter de deux sortes de rayons ¹. » D'ailleurs Newton déclare expressément qu'il n'est pas essentiel à l'esprit de sa théorie de préciser le mécanisme intime de la composition des rayons. Il n'a point dessein de faire connaître en quoi consiste la nature et la distinction des couleurs ². Qu'on fasse appel à une théorie corpusculaire, à une théorie de l'émission, — ou à une théorie de l'éther, à une théorie des ondulations — le fond de l'optique demeure le même. Newton a expliqué le rapport qui existe entre les couleurs simples et les couleurs composées ; il a fait voir que les secondes peuvent se décomposer par le prisme, tandis que les premières sont « primitives et immuables ». Ce résultat suffit à la physique, qui doit mépriser l'explication, toujours facile, des qualités concrètes par des hypothèses mécaniques ³.

Après Hooke et Huyghens, Newton n'eut plus affaire qu'à des adversaires de moindre envergure. Les plus connus sont *Pardies Linus*, *Lucas*, *Gascoigne*. Avec eux la discussion descendit du terrain des hypothèses à celui des faits, où Newton reprenait tous ses avantages.

Le jésuite *Pardies* semble être le premier qui ait cherché à refaire systématiquement les expériences de Newton et en particulier à répéter le fameux *Experimentum Crucis* ⁴. Il tenta aussi, mais sans succès, la reconstitution de la lumière blanche à l'aide d'un mélange de lumières monochromatiques. La déception causée par ces essais infructueux l'amena à mettre en doute la théorie de Newton, et dans une lettre à

1. V. Ed. Castillon, T. II, p. 362.

2. *Ibid.* « Extra propositum meum est perpendere quo pacto Colores per Hypotheses explicari possint, Quinimo neque mihi animus est ostendere in quo versetur Colorum natura atque discrimen ; sed tantum commonstrare quod illi de facto sunt primigeniæ et immutabiles qualitates Radium. »

3. *Ibid.* « Aliis relinquo curam harum qualitatum naturam atque discrimen per mechanicas hypotheses explicandi, quod negotium non difficile reor. »

4. Cf. *Phil. Trans.*, n. 84, p. 1087.

Oldenburg, publiée aux *Philosophical Transactions*, il trahit son dépit en rejetant cette théorie au rang d'hypothèse, voire d'hypothèse moins vraisemblable que celle de *Grimaldi*. Dans sa réponse, Newton commence par donner à *Pardies* quelques indications expérimentales. Le dispositif employé par ce dernier pour refaire l'expérience des prismes croisés était défectueux. Sur les conseils de Newton, *Pardies* refait les mesures dans d'autres conditions, et il retrouve identiquement les résultats annoncés par Newton.

Mais la partie la plus intéressante de la polémique entre *Newton* et *Pardies*, est celle qui est suscitée par la dénomination d'*hypothèse* dont *Pardies* s'était servi pour désigner la conception de la lumière chez Newton. Newton consent à ne pas prendre cette qualification dans un mauvais sens, bien qu'il ait conscience de n'avoir mis dans son *Optique* que « des propriétés certaines et assurées de la lumière ». Rechercher la nature de ces propriétés est d'après lui une tâche stérile, et dont toute théorie, même celle de ses adversaires, peut aisément s'acquitter. C'est ainsi, pense-t-il, qu'il n'y a aucune difficulté à interpréter les expériences, soit dans les idées de *Grimaldi*, soit dans celles de *Hooke*, soit dans celles de *Descartes*, ou d'autres encore. Mais cette interprétation n'est pas l'essentiel. La véritable méthode scientifique ne consiste pas à épuiser les hypothèses abstraites grâce auxquelles un fait est concevable, et à préférer parmi ces hypothèses celle qui mène aux conclusions les plus cohérentes. Une théorie doit être choisie non à la suite d'éliminations abstraites, mais à la suite d'une élimination concrète portant sur l'ensemble des faits. Or à ce point de vue, la théorie de la dispersion, sous la forme positive que lui donne Newton, ressort manifestement des faits. Elle est donc une hypothèse si l'on veut, mais une hypothèse qui demeure vraie indépendamment de tout ce que nous conjecturons sur l'essence de la lumière. Les conceptions corpusculaires et les conceptions ondulatoires s'y accommodent également bien. Elle est valable scientifiquement autant qu'une loi scientifique peut être assurée.

Les objections de *Linus*¹ et de *Lucas*² sont presque toutes

1. Cf. *Phil. Trans.*, n. 110, p. 217.

2. Cf. *Phil. Trans.*, Vol. J, p. 172.

des objections expérimentales. Elles apprennent assez peu de chose sur la théorie que ces physiciens opposaient à celle de Newton, et les réponses qu'y donne Newton font voir qu'il ne jugeait pas nécessaire de modifier en rien sa conception. On peut dire que pendant la période qui va de 1672 à 1675 la pensée intime de Newton est restée invariablement la même. L'idée que la lumière est la manifestation sensible d'une substance analogue aux substances matérielles, que les rayons sont des émanations moléculaires des corps incandescents, que leur émission, leur réfraction, ont une origine purement mécanique, a certainement été pendant longtemps l'idée de derrière la tête de Newton. Seulement cette idée il se trouve contraint de l'exprimer avec des réserves. L'horreur des polémiques stériles l'amenait à désavouer toute hypothèse.

VI

A partir de 1675, le fait essentiel qui caractérise la seconde période de l'optique newtonienne est la conversion partielle de Newton aux théories ondulatoires. L'attitude qui n'était d'abord qu'une tactique finit par devenir chez lui parfaitement sincère. Tout en demeurant fidèle à l'esprit positif et en refusant aux hypothèses quelles qu'elles soient une valeur absolue, Newton admet que la conception de l'éther fournit un schéma aussi exact que la doctrine de l'émission. Il ne devient pas pour cela un partisan *absolu* de la théorie de l'éther, mais il s'en sert systématiquement et la développe sur bien des points. Elle passe entre ses mains du rang d'hypothèse métaphysique à celui d'hypothèse physique, contrôlée et corrigée par les faits. La science moderne n'aurait pu tirer aucun profit d'une conception de l'éther telle qu'on la trouve chez *Hooke* ou même chez *Huyghens*. C'est à Newton qu'elle emprunte cette *hypothèse*, régularisée et devenue théorie.

Les raisons qui déterminèrent l'orientation de l'optique newtonienne du côté des théories de l'éther sont de deux sortes. Il y a d'abord des raisons générales, tirées des tendances mêmes du newtonisme en matière de philosophie naturelle. Ensuite il y a des raisons spéciales provenant du progrès

incessant accompli par Newton en matière d'optique physique.

On est trop porté à croire d'ordinaire que les différentes parties de la physique newtonienne sont indépendantes les unes des autres. C'est ainsi qu'on attribue à la seule influence des expériences d'optique la tendance de plus en plus grande de Newton vers les théories ondulatoires de la lumière. Il est certain pourtant que cette tendance est solidaire de dispositions générales qui se retrouvent à la fois dans l'*Optique*, dans les *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, et dans les *Opuscules* de Newton. Ce sont ces dispositions qu'il faut analyser d'abord, si l'on veut comprendre l'évolution de l'optique newtonienne. Ce sont elles qui expliquent la substitution d'un éther immatériel et continu, comme représentation des phénomènes, à l'ancienne image de l'émission, reste de la métaphysique corpusculaire.

S'il est un principe de mécanique générale que Descartes ait étrangement méconnu, c'est celui d'après lequel la propagation d'une action physique nécessite toujours un temps fini. Descartes croit démontrer, en partant de sa définition de la lumière, qu'un rayon lumineux peut *instantanément* venir du soleil jusqu'à nous. Il définit la lumière comme la pression mutuelle de petites boules solides, et prétend qu'elle ne consiste point en la durée de quelque mouvement, mais seulement en ce que ces « petites boules sont pressées, et font effort pour se mouvoir vers quelque endroit, encore qu'elles ne s'y meuvent peut-être pas actuellement¹ ».

Il s'ensuit que la lumière s'étend en rond de tous côtés autour du soleil et des étoiles fixes et qu'elle passe en un instant à toutes sortes de distances. L'idée de Descartes est plus clairement exprimée encore au début des *Météores*². Il fait voir qu'en vertu de la solidité des corps on ne peut mouvoir une quelconque de leurs parties sans que le corps tout entier participe *instantanément* au même mouvement.

C'est ainsi qu'un bâton ne peut être remué à une de ses extrémités sans que cette modification ait son contre-coup, d'une manière immédiate, à l'autre extrémité. Et ceci demeurerait

1. *Princ. de la Phil.*, III^e P., § 63, Ed. Cousin, p. 228.

2. Cf. *Météores*, Discours Premier, Ed. Cousin, p. 6.

vrai quand le bâton serait assez long pour aller des cieux jusques à la terre. « Ce qui doit empêcher de trouver étrange que la lumière puisse étendre ses rayons en un instant depuis le soleil jusqu'à nous ».

Ainsi Descartes trouvait logiquement concevable et physiquement réalisée une *propagation de la lumière en dehors du temps*. Il y a là une question qui théoriquement est difficile à décider, mais que l'expérience ne devait pas tarder à résoudre dans le sens inverse du sens cartésien. *Römer* le premier posa en fait que certains phénomènes astronomiques ne peuvent se comprendre si l'on admet une propagation instantanée de la lumière, et Newton érigea en principe l'impossibilité de toute propagation instantanée. Les observations de *Römer* avaient été faites sur les satellites de Jupiter pendant le temps des éclipses. Il avait constaté que la durée des éclipses ne coïncidait jamais avec la durée théorique telle qu'on pouvait la prévoir par les tables. Lorsque la terre se trouve interposée entre le soleil et Jupiter, les éclipses se produisent sept ou huit minutes trop tôt ; lorsque la terre est en opposition avec Jupiter par rapport au soleil, elles ont lieu sept ou huit minutes trop tard. *Römer* avait montré que la cause du phénomène se trouvait dans le temps employé par la lumière des satellites pour parcourir le diamètre de l'orbite terrestre. L'objection qui se présente tout de suite à l'esprit est que l'inégalité observée peut provenir de l'excentricité des orbites que décrivent les satellites. Mais on ne comprendrait pas dans une semblable hypothèse pourquoi cette inégalité est en rapport, à toute époque, avec la distance de la terre au soleil¹. Au contraire, les différences observées se justifient très bien si l'on attribue à la lumière des satellites une vitesse de propagation très grande, mais finie.

Les observations de *Römer* avaient vivement frappé Newton. Il y fait allusion, non seulement dans l'*Optique*, mais dans les *Principes*², et les considère comme une preuve directe de

1. Cf. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, Prop. XI.

2. V. *Principes*, L. I, S. 14. Prop. XLVI, Scholie. « Il est certain par la découverte des phénomènes des satellites de Jupiter, confirmée par les observations de plusieurs astronomes, que la propagation de la lumière est successive, et qu'elle vient du Soleil à la Terre en sept ou huit minutes ».

l'inexactitude des conceptions cartésiennes. L'action de la lumière, pas plus qu'aucune autre action mécanique, ne se fait *dans l'instant*. Elle ne peut consister, comme le pensait Descartes, dans un état de pression des molécules. Ce serait là un état statique, inconciliable avec les observations de *Römer*. La lumière implique nécessairement un état dynamique, ou si l'on préfère un transport d'action à travers un milieu. Ceux que les observations des astronomes ne convaincront pas, doivent songer qu'il existe un autre phénomène, démontrant d'une façon irréfragable l'existence d'une vitesse de propagation de la lumière. C'est le fait même de la diffraction, récemment découvert par *Grimaldi*. Si la lumière se courbe, s'infléchit au voisinage d'un obstacle matériel, c'est qu'elle subit dans une certaine mesure l'action de cet obstacle. Or, si la lumière se communiquait en un instant d'une extrémité du ciel à l'autre, il serait impossible qu'elle fût modifiée par des forces *agissant dans le temps*. Le fait de la diffraction est donc la preuve que, dans toute la région où le rayon lumineux est dévié, il se meut d'une vitesse comparable à celle qu'il reçoit de l'attraction de l'obstacle. La lumière se propage donc, et l'on peut même déduire, de l'étude expérimentale de la diffraction, une mesure grossière de sa vitesse.

Dès lors il devient impossible de considérer les rayons lumineux comme des réalités purement géométriques. La dioptrique et la catoptrique traditionnelles envisagent le « rayon lumineux » comme existant à chaque instant tout entier. Les mathématiciens se l'imaginent comme une ligne qui relie le point lumineux au point illuminé, ligne droite dans un milieu homogène, et qui se brise au passage d'un milieu dans un autre. Mais cette manière de voir n'a de sens que dans une théorie de la propagation instantanée¹. Du moment qu'une pareille théorie est rejetée à la fois au nom des principes généraux et sur la foi des observations astronomiques, il faut renoncer à la définition classique du rayon lumineux. Il convient de définir ce dernier en choisissant dans le milieu où la propagation se fait des pinceaux de plus en plus fins, mais

1. Cf. *Lect. Opt.*, Déf. II. « Hoc quidem de Radiis et refractionibus dici possit, si lumen uno momento propagatur. »

toujours « capables d'agir ou susceptibles de pâtir physiquement ¹ ». On conçoit alors que la lumière ne puisse plus être envisagée comme une émission de molécules agissant instantanément par pression d'un bout à l'autre de l'univers. En introduisant dans l'optique l'idée de « durée », Newton y introduisait quelque chose qui facilite le rapprochement entre les ondes lumineuses et les ondes fluides, c'est-à-dire qu'il préparait la voie à une théorie de l'éther.

La négation des actions instantanées s'accompagne chez Newton de la négation des actions à distance. Nous connaissons l'importance que prend en mécanique le principe de non-action à distance, pour ce qui regarde la définition et la mesure des forces. Ce principe, tiré par induction de quelques expériences simples, acquiert par la fécondité de ses applications une valeur quasi-universelle. On peut l'utiliser non seulement en mécanique rationnelle, mais encore en hydrodynamique et en optique. Le phénomène de la diffraction auquel il vient d'être fait allusion, conduit alors de toute nécessité à la conclusion suivante : il existe un milieu spécial qui sert de véhicule à la lumière. Quel est en effet le trait caractéristique du phénomène analysé par *Grimaldi* et par *Hooke* ? Un rayon lumineux, — et peu importe ici qu'on entende par ce mot un trait géométrique ou un faisceau physique, — est dévié de la ligne droite au voisinage d'un écran. Il contourne l'écran à une très petite distance jusqu'à ce qu'il s'en soit suffisamment éloigné pour recommencer à se propager en ligne droite. Au voisinage de l'écran, il y a donc action de la substance de l'écran sur la substance, quelle qu'elle soit, de la lumière. Ainsi dans l'espace très petit qui sépare le rayon de l'obstacle, il se passe physiquement *quelque chose* ². Nous dirons que cet espace est un champ de forces puisque c'est en cet endroit que s'exercent les actions mutuelles du rayon et de la matière. Mais un champ de forces suppose nécessairement une réalité à laquelle les forces s'appliquent. Dans cet espace qui nous semblait au pre-

1. Cf. *Lect. Opt.*, Déf. I. « Minima pars luminis quæ agere vel pati quicquam possit, quod reliquum lumen eodem tempore non agat vel patiat, hæc est quam appello Radium luminis. »

2. V. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, Prop. VIII. « Corporum partes, interjecto licet aliquo intervallo, agere tamen in radios luminis, id deinceps ostendetur. »

mier abord indifférent au passage de la lumière, il faut admettre que la lumière produise des actions et des réactions. Ceci serait impossible dans une théorie purement moléculaire. S'il n'y avait dans un rayon lumineux qu'un « bombardement » de molécules émises par la source et déviées par diffraction, il ne se passerait *rien* dans l'espace qui sépare les molécules de l'écran. Le fait même de la diffraction montre qu'il se passe quelque chose, et laisse supposer que la lumière implique le mouvement vibratoire d'un milieu continu.

L'existence d'un pareil milieu est d'ailleurs suggérée d'une manière invincible par les phénomènes électriques et magnétiques. Ne voyons-nous pas l'aimant transmettre la force avec laquelle il agit sur le fer, et cela sans la moindre diminution ou altération, à travers tous les corps non magnétiques, comme l'or, l'argent, le plomb, le verre, l'eau ¹ ? Les corps électriques, lorsqu'ils sont frottés, peuvent émettre une exhalaison très rare et très subtile, douée pourtant d'une force considérable, tout comme les effluves magnétiques traversent sans résistance les lames de verre qu'on leur oppose ². La force gravitante du soleil se transmet intégralement dans l'épaisseur de la masse des planètes. Elle agit jusqu'à leur centre ³ avec la même intensité et selon les mêmes lois qu'elle ferait si les parties intérieures de la planète n'étaient pas entourées de couches extérieures. Tous ces phénomènes entraînent une conséquence commune. Ni l'électricité, ni la force magnétique, ni la gravitation ne pourraient se propager s'il n'y avait pas un milieu physique sur lequel elles pussent avoir prise. La lumière ne fait pas exception. Si elle se transmet en un temps fini, c'est parce qu'elle franchit un milieu particulier où le choc des molécules incandescentes suscite des ondes d'ébranlement. La conception

1. V. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, Prop. VIII, « Magnes virtutem qua in ferrum agit, sine ulla diminutione aut alteratione, integram transmittit per corpora omnia non magnetica nec candentia; ut aurum, argentum, plumbum, vitrum, aquam. »

2. Cf. *Opt. Quæst.* XXII. « Quomodo corpus electricum, quum fricetur, exhalationem emittere possit tam raram tamque subtilem, et tamen eodem tempore tanta vi præditam. »

3. Cf. *Lect. Opt.*, L. III., P. II, Prop. VIII. « Vis gravitans Solis transmittitur integra per ingentia planetarum corpora, ita ut eadem vi eisdemque legibus ad ipsa usque centra in omnes eorum partes agat, ac si partes illæ interiores reliquo planetæ corpore non essent circumdatæ. »

de l'éther découle naturellement de l'axiome suivant lequel il n'y a pas d'action physique, quelle qu'elle soit, sans un milieu qui la communique.

Il est une raison d'ordre général, trop souvent méconnue, qui plus encore que les précédentes a conduit Newton à admettre en optique l'existence d'un milieu éthéré. Nous voulons parler des recherches entreprises par Newton lui-même sur la résistance des milieux matériels, recherches qui sont résumées dans le second livre des Principes. Nous avons eu l'occasion ailleurs¹ de faire allusion à cette partie de la physique newtonienne, soit pour en montrer le lien avec les principes généraux de la mécanique, soit pour y faire voir un exemple typique de la physique mathématique de Newton. Il est certain qu'aux yeux de son auteur, il y avait là une théorie capitale, dont les conséquences dépassent de beaucoup le domaine de l'hydrodynamique. La réfutation de l'hypothèse des tourbillons découle directement des théorèmes de Newton sur le frottement interne des fluides. Nous allons montrer que cette même théorie devait nécessairement amener Newton à la conception de fluides incorporels, d'éthers dont l'optique pouvait faire usage.

Il est un fait que les astronomes ont constaté depuis longtemps, et dont la certitude est allée en croissant avec la précision de nos observations : c'est la rigoureuse invariabilité des « temps périodiques », c'est-à-dire des durées de révolution des planètes. Cette constance dans le mouvement des planètes indique qu'elles se meuvent à travers un fluide dont la résistance est très sensiblement nulle. Comment Descartes pouvait-il rendre compte de cette absence de résistance dans un milieu à la fois *matériel* et *plein* ? Car il ne faut pas oublier que la négation du vide est un des axiomes de la physique cartésienne, et que l'étendue étant équivalente à la matière, la matière existe partout. On sait que Descartes se tirait d'affaire par une distinction entre les différentes sortes de matière. La matière grossière, composée de particules relativement grandes, est celle qui fait naturellement obstacle au passage des corps en mouvement, et si les cieux étaient composés de

1. V. *La Philosophie de Newton*, Ch. V et VII.

cette matière, il est certain que le mouvement des planètes devrait s'y amortir très rapidement. Mais le milieu dans lequel les astres se déplacent est le plus subtil, le plus ténu de tous. Les particules physiques n'y ont pas les formes compactes et enchevêtrées qui sont propres à apporter le trouble à la propagation des masses mobiles. Elles sont au contraire d'une petitesse extrême, glissent sans difficulté les unes sur les autres, et n'occasionnent aucune perte de force vive dans les corps qui les chassent. Bien que le monde solaire soit rempli de matière, la matière s'y trouve à un état de division tel qu'elle est incapable de résister au choc de corps énormes, comme sont les astres que nous connaissons.

La réfutation donnée par Newton de l'argument cartésien est claire et décisive. Descartes a péché par goût des simplifications excessives. Il a vu que dans un grand nombre de cas la résistance apportée par un certain milieu à la propagation d'un mouvement donné est proportionnelle à la grosseur des parties dont le milieu est composé. C'est ainsi qu'un char roule plus aisément sur une route recouverte de poussière que sur une route grossièrement empierrée. Un son se propage plus aisément dans un air pur et limpide que dans la brume ou par la neige. Mais la résistance due aux *dimensions* de l'obstacle n'est pas la seule qu'on trouve dans la nature. Il résulte des expériences et des analyses de Newton, touchant les oscillations du pendule ou le flux et le reflux de la mer, que dans l'expression des résistances interviennent des termes qui ne dépendent pas de la grosseur des molécules résistantes, mais de leur masse et de leur inertie. C'est ainsi qu'en subdivisant un corps en parcelles très ténues on ne supprime pas entièrement la résistance que ce corps peut offrir au mouvement d'un autre corps. On supprime simplement « cette fraction de la résistance qui vient de la ténacité et du frottement des parties »¹. Mais la division des parties de la matière ne diminue point sa quantité (masse totale), et la quantité de la matière restant la même, la force d'inertie demeure la même, par suite aussi la fraction de la résistance qui est en rapport avec cette force.

Ainsi en admettant le plein de Descartes, on se condamne à

1. Cf. *Principes*, L. II, S. 7, Scholie Final.

laisser subsister dans l'univers des résistances qui peuvent être énormes et dont la réalité est journellement démentie par le fait de l'invariabilité des temps sidéraux¹. Si l'on veut diminuer ces résistances, il est de toute nécessité, d'après Newton, qu'on « diminue la quantité de matière dans les espaces dans lesquels le corps se meut »². Mais diminuer la quantité de matière est une chose impossible dans la théorie de Descartes, puisque la matière est « étendue », et que l'étendue n'est pas susceptible de condensation ou de raréfaction, de plus ou de moins. Il n'est même pas nécessaire de prendre à la rigueur la théorie de Descartes pour se heurter directement à cette difficulté. Dans toute optique où les rayons de lumière sont considérés comme des émissions de particules solides, c'est-à-dire absolument résistantes, on se verra obligé d'admettre que le choc de ces particules retarde petit à petit les mouvements astronomiques. Les atomistes et *Gassendi* n'évitent pas cette difficulté. La petitesse et la rareté des atomes n'enlèvent rien à leur solidité, elles retardent sans le supprimer l'effet d'amortissement que doivent subir les planètes.

C'est pourquoi Newton est porté à admettre que ce que nous appelons rayon lumineux ne consiste pas en un transport de particules absolument rigides, identiques aux solides matériels. Il lui semble beaucoup plutôt qu'il doit y avoir dans l'espace dégradation continue de la résistance matérielle jusqu'à ce qu'on arrive à un milieu nouveau n'offrant plus qu'une analogie lointaine avec les substances corporelles. « Les espaces célestes dans lesquels les globes des planètes et des comètes se meuvent sans cesse librement en tous sens sans aucune diminution sensible de leur mouvement doivent être *vides de tout fluide corporel* ». Il est vrai que Newton ajoute aussitôt qu'il faut peut-être faire une exception en faveur de quelques vapeurs très légères et des rayons de lumière qui les traversent. Mais cette exception ne peut être admise à la rigueur sans contredire ce qui précède. Il faut y voir une de ces formules dubitatives dont

1. Il faut pourtant signaler que certains physiciens modernes, et en particulier *lord Kelvin*, ont cherché à démontrer mathématiquement la compatibilité des mouvements astronomiques avec l'hypothèse des cieux solides.

2. Cf. *Principes*, L. II, S. 7, Scholie Final.

Newton aime à s'entourer dans les *Principes* pour éviter le reproche d'hypothèse arbitraire. Au fond son idée est visiblement que le milieu où se transportent les planètes doit différer extrêmement des milieux matériels. La résistance et l'inertie doivent y être réduites à des proportions si petites qu'il est légitime de le considérer comme un milieu nouveau, un milieu incorporel. C'est seulement pour éviter les querelles de mots, dont il venait de faire la fâcheuse expérience, que Newton exprime, sous forme hypothétique, la possibilité de la matérialité des rayons. En réalité c'est bien une théorie nouvelle, une théorie de l'Ether, qui ressort implicitement du théorème des *Principes*.

Cette théorie va rencontrer dans la physique newtonienne un terrain particulièrement favorable, et pour une raison qui peut sembler d'abord assez paradoxale : à cause de l'esprit positif dont cette physique est inspirée. Les prédécesseurs immédiats de Newton n'avaient pas la puissance d'intuition qui permet au savant de se passer d'images matérielles. Même des hommes comme Bacon ou Descartes n'ont pas su constituer la physique sans l'encombrer de représentations auxiliaires, empruntées à l'expérience sensible, et destinées à soulager l'effort de l'entendement. Newton au contraire, par l'emploi positif des mathématiques, est parvenu à ériger une physique où l'interprétation des faits joue un rôle accessoire et où la signification importante est dévolue à la forme mathématique des phénomènes. C'est ainsi que lorsqu'un fait naturel suit une loi d'amortissement de forme pendulaire, peu nous importe de savoir si réellement il faut en chercher l'explication dans les oscillations de pendules élémentaires. La formule abstraite suffit, et au-delà il n'y a qu'hypothèse. Lorsque l'étude d'un phénomène simple, la propagation du son ou de la lumière par exemple, avait été entreprise par Descartes ou Bacon, c'est par des analogies matérielles que ces savants cherchaient à se représenter les faits. En optique et en acoustique, quelque chose paraît se propager. Il faut que ce quelque chose soit matériel, il faut que ce soient des corpuscules solides. Newton témoigne plus de réserve. Lorsque nous avons constaté qu'un son ou qu'un rayon se propage, nous ne devons pas nous soucier tout d'abord de rechercher *ce qui* se propage. C'est là une question

accessoire impliquant hypothèse. Nous devons étudier *les lois* suivant lesquelles la propagation se fait, parce que ces lois sont indépendantes du substrat hypothétique qu'on donne au mouvement.

Il devient possible alors de tenter, comme le fait Newton, l'étude de la propagation en général, que cette propagation soit celle de la matière, de la force, du mouvement. De là l'idée très abstraite, et tout à fait originale chez Newton, que la force, le mouvement, la perturbation quelle qu'elle soit, peuvent se communiquer par le milieu ambiant aussi bien que les molécules matérielles. Quelque chose circule dans le milieu que nous observons, et il suffit que ce quelque chose puisse se désigner soit par un nombre soit par un vecteur pour que nous soyons en droit de l'étudier d'une manière positive¹. Voilà pour quoi on rencontre souvent chez Newton une idée qui eût semblé absurde aux cartésiens comme aux atomistes, l'idée d'une force qui se propage indépendamment de toute masse matérielle. Les perturbations électriques et magnétiques, les forces de gravitation, etc. sont des exemples de propagation réelle et pourtant incorporelle. Tout porte à croire que la propagation de la lumière rentre dans un cas de ce genre. C'est une question que rien ne permet actuellement de résoudre, de savoir « si la lumière est une projection de corpuscules exigus ou si elle n'est qu'un mouvement abstrait, une certaine force qui se propage ». Tout ce que nous savons, c'est qu'elle se meut en ligne droite, et ceci demeure vrai dans toutes les hypothèses². Il devient donc assez indifférent de rechercher si ce sont des vibrations matérielles ou des vibrations non matérielles qui servent de véhicule au rayon lumineux. Le feu est-il « un corps incandescent au point d'émettre une copieuse lumière ? »³. La lumière ne s'effectue-t-elle au contraire que « par l'intermédiaire de mouvements vibrants »⁴ ? Répondons qu'il y a vibration et

1. Ceci est à rapprocher de ce que fera *Maxwell* lorsqu'il introduira en Electrostatique la considération des « courants de déplacement » qui résultent de la déformation de l'éther.

2. Cf. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, Prop. VIII. « Radii luminis, sive sint illi exigua projecta corpuscula, sive motus solummodo, vel vis aliqua propagata, moventur in lineis rectis. »

3. Cf. *Quæst. Opt.* IX.

4. *Ibid.*, VIII.

que cette connaissance suffit au physicien. On voit que Newton arrive, de par sa méthode, à se libérer de toute comparaison moléculaire, et à laisser ainsi la place ouverte à des comparaisons nouvelles empruntées aux théories de l'éther. Mais on peut prévoir que, de par cette méthode même, les théories de l'éther ne se substitueront pas chez lui purement et simplement aux théories moléculaires. Sa théorie sera mixte, parce qu'elle prétend demeurer positive.

Après avoir énuméré les raisons générales qui laissent prévoir l'orientation graduelle de l'optique vers les théories de l'éther, il convient de rechercher les motifs historiques qui expliquent d'une manière plus particulière cette évolution. Nous aurons ensuite à nous demander à quel titre Newton peut être appelé un « partisan de l'éther » et si sa conception garde quelque valeur dans la physique moderne.

Une remarque qui s'impose tout d'abord est que la théorie de Newton se trouvait dans une situation fautive du fait de la confusion, généralement commise de son temps, entre l'optique géométrique et l'optique physique. L'optique géométrique, plus communément désignée par Descartes et ses disciples sous les noms de Dioptrique et de Catoptrique, est celle qui est fondée toute entière sur la notion de rayon lumineux. Elle comprend la théorie de la réflexion et de la réfraction avec les conséquences géométriques qui en découlent en ce qui concerne la construction des verres, des miroirs et des systèmes grossissants. Dans l'optique géométrique, il est possible de se passer de toute hypothèse. Le fait de la propagation rectiligne est le seul dont on fasse usage, et il n'y est besoin d'aucune représentation supplémentaire touchant le mécanisme intime de cette propagation ou les causes perturbatrices qui le modifient à la surface de séparation de deux milieux.

Au contraire l'optique physique touche de plus près à la constitution de la lumière. Ce que nous entendons aujourd'hui sous ce nom, c'est la théorie de la polarisation, des interférences, de la double réfraction, de la polarisation rotatoire. Toutes ces théories impliquent une part d'hypothèse en ce sens qu'elles partent d'une représentation concrète des vibrations elles-mêmes et de la symétrie que les vibrations peuvent présenter par rapport au rayon.

Il est extrêmement remarquable que, même avant Newton, on ait connu des phénomènes comme la diffraction qui relèvent manifestement de l'optique physique, et qu'on les ait étudiés pourtant à la façon de l'optique géométrique. La double réfraction elle-même, qui fut découverte du vivant de Newton, et qui est aujourd'hui à la base de l'optique physique, a longtemps été envisagée d'une manière purement géométrique, et sans qu'on cherchât à la rattacher à la constitution du rayon lumineux. Au contraire, s'il est un phénomène voisin de ceux de l'optique géométrique, un phénomène qui a longtemps passé pour une simple aberration de la réfraction, c'est celui de la dispersion des couleurs par le prisme. Les lois de Descartes, la propagation rectiligne, le caractère géométrique proprement dit continuent à y être vérifiés. On peut dire que des phénomènes de l'optique physique, c'est celui qui semble renseigner le moins sur la nature des ébranlements de l'éther. C'est pourtant de ce phénomène que Newton va partir pour s'élever à la conception de l'éther. Ce ne sont pas les franges de diffraction, soigneusement étudiées par *Hooke*, qui vont conduire Newton à modifier la théorie de l'émission. C'est la production des couleurs du prisme qui demeure pour lui le problème essentiel, et c'est parce que cette production est en rapport avec la distribution intime de la matière, qu'il va être obligé d'admettre un milieu vibrant en résonance avec cette matière.

Le désaccord entre *Hooke* et *Newton* n'avait pas été supprimé par les nombreuses publications de ce dernier. Pourtant il est certain que *Hooke* avait fait des concessions à l'explication newtonienne. Il avait fini par considérer comme exactes les expériences de Newton, et acceptait en gros l'affirmation de ce dernier, savoir qu'il y a corrélation invariable entre telle couleur déterminée et tel degré de réfrangibilité. Surtout *Hooke* avait renoncé à sa prétention primitive d'expliquer toutes les couleurs, y compris le blanc, par le mélange de deux couleurs seulement. Il acceptait maintenant qu'il y eût plus de deux couleurs distinctes, et allait même jusqu'à en reconnaître une infinité. Mais alors *Hooke* devait renoncer à l'image qui lui avait servi dans sa *Micrographie*, image d'après laquelle tout rayon lumineux possède deux côtés et deux seulement. Il fallait maintenant ou bien attribuer au rayon une infinité de « côtés »

distincts, ou envisager dans l'état du rayon autre chose que l'aspect extérieur, étudier le mode même dont les vibrations s'effectuent.

C'est à ce dernier parti que se range *Hooke*¹. Dans son rapport sur la diffraction, qu'il présenta à la Société royale de Londres le 11 mars 1675², *Hooke* explique pour la première fois l'idée nouvelle qu'il se fait des couleurs. Les couleurs dépendent de l'amplitude et de la vitesse des ondulations de l'éther, et comme cette vitesse et cette amplitude peuvent varier à l'infini, on conçoit qu'il existe une infinité de couleurs élémentaires. La lumière prend son origine, tout comme le son, dans un certain tremblement du milieu. Nous savons que les différences de périodes créent les différences de hauteur du son, et que l'harmonie se compose de sons ayant des intervalles simples. Le même phénomène se passe en optique. Les couleurs se distinguent par leur période, et ce que nous nommons une couleur agréable, c'est un accord harmonique de vibrations convenablement mélangées. Les sons se ressemblent tous, si on les considère objectivement, et ils ne prennent leur valeur individuelle que pour l'oreille qui les perçoit. Il en est de même des couleurs. Prises en elles-mêmes, elles sont des vibrations qui se ressemblent toutes, au degré près. Mais notre œil est différemment affecté par des ordres de fréquence différents. Le rouge, le jaune, le bleu, sont les apparences optiques que prennent pour nous les ondulations de différentes vitesses. Dans une communication du mois de mai 1682³, *Hooke* revient sur cette théorie des couleurs, qui semble être demeurée définitivement la sienne.

C'est sur la demande d'*Oldenburg* et à l'occasion de la polémique avec *Linus* que Newton, vers la fin de l'année 1675, adressa à la Société Royale de Londres un important mémoire qui devait rouvrir le débat entre Newton et *Hooke*, bien qu'en réalité ce mémoire marque un rapprochement manifeste entre l'optique de Newton et celle de *Hooke*. Nous voulons parler de l'opuscule qui porte pour titre : *Théorie de la lumière et des*

1. V. *Hooke*, *Posthumous Works*, Londres 1705, p. 71-149.

2. Cf. *Birch*, *History of the Royal Society*, Vol. III, p. 194.

3. *Posthumous Works*, p. 129.

couleurs, renfermant tant une hypothèse propre à l'explication des propriétés de la lumière, qu'une description des principaux phénomènes de coloration des lames minces et des bulles¹.

Ce mémoire était accompagné d'un brouillon à l'adresse d'*Oldenburg*, qui contenait une hypothèse sur l'essence de la lumière. Mais cette hypothèse n'était présentée par Newton qu'avec les précautions les plus grandes. Elle était d'ailleurs conforme à celle qu'on retrouve, sous forme dubitative, à la fin de l'*Optique*, et qui est une conciliation originale de la théorie de l'émission et de la théorie des ondulations. Newton s'excuse auprès d'*Oldenburg* de lui envoyer une communication aussi imparfaite, et que lui-même ne peut relire sans y trouver des obscurités. Il s'était promis, ajouta-t-il, de ne plus publier rien qui ressemblât à une hypothèse, étant données les disputes qu'il avait suscitées. Mais il espère que la déclaration formelle, faite en tête du mémoire principal, de ne plus répondre à aucune polémique, lui épargnera de nouvelles attaques. S'il n'a pas résisté à la tentation d'accompagner d'une hypothèse sa théorie des couleurs, c'est qu'il estime que l'hypothèse peut servir à illustrer les faits. Elle joue le rôle des figures dans un ouvrage dont le texte est obscur. D'ailleurs il espère que cette hypothèse ne sera pas prise littéralement. Il l'a lui-même développée sans rigueur, écrite hâtivement, et il souhaite qu'on soit indulgent pour les imperfections qu'elle peut présenter.

Le mémoire principal contient les idées définitives de Newton sur l'essence de la lumière et la valeur des hypothèses optiques en général. C'est à ce mémoire et à l'*Optique* de 1704 qu'il faut se référer si l'on veut fixer le terme de l'évolution qui a amené Newton à une hypothèse très voisine de l'hypothèse moderne de l'éther.

Newton commence par se féliciter de voir *Hooke* se ranger enfin à son avis. Il interprète ainsi la déclaration de *Hooke* d'après laquelle celui-ci reconnaît maintenant qu'il y a une infinité de couleurs, distinguées seulement par la longueur d'onde (*various bigness of the pulses*). En réalité, Newton faisait plus de concessions à l'hypothèse de *Hooke* qu'il n'en obtenait de ce dernier. C'est ce qui résulte de la suite du

1. Cf. Birch, Vol. III, p. 247.

mémoire, où il décrit l'hypothèse des ondulations comme la plus probable de toutes celles qui ont été données par les auteurs, parce qu'il ne voit pas le moyen d'expliquer sans « ondes éthérées » les phénomènes de coloration des lames minces. Pourtant il y a une hypothèse que Newton semble regarder comme meilleure encore. Cette hypothèse n'est pas nouvelle, elle a déjà été donnée précédemment¹. Elle consiste dans l'idée que les rayons de lumière sont une émanation directe des corps portés à l'incandescence. Cette émanation ou émission vient frapper les corps éclairés, et produit un ébranlement de l'éther enfermé dans ces corps. Le caractère propre de cet ébranlement est d'être vibratoire et de se propager à l'éther avoisinant. D'ailleurs il est inutile de rechercher le mécanisme exact de cette propagation, comme il est inutile de se demander comment la matière ébranle l'éther. Il est indifférent à la science positive qu'un phénomène prenne naissance pour une cause ou pour une autre, pourvu que nous connaissions les lois qui président à son développement. Disons donc que la lumière est quelque chose, dont la caractéristique est de pouvoir ébranler l'éther, sans prétendre expliquer dans le détail la genèse de cette perturbation. Ainsi conçue, la théorie ondulatoire semble à Newton, sinon absolument vraie, du moins la plus commode et la plus vraisemblable de toutes.

Que Newton ait été amené à admettre l'éther comme lieu de la propagation lumineuse, on peut l'attribuer aux raisons générales étudiées plus haut, et à l'influence des arguments de *Hooke*. Mais qu'il ait envisagé cet éther comme susceptible de vibrations, c'est-à-dire qu'il ait fait consister la lumière en alternances de mouvements très rapides, c'est ce qu'on ne peut comprendre sans se reporter à la théorie naissante des interférences, telle qu'elle avait été esquissée par *Hooke* dans sa *Micrographie*, telle qu'elle est reprise et développée par l'*Optique*.

Hooke avait expliqué d'une manière extrêmement originale un phénomène alors tout nouveau dans la science, celui de la coloration des lames minces². Lorsqu'une lame très mince d'une

1. Au cours de la première polémique avec *Hooke*, 1672.

2. Cf. *Micrographia*, p. 65-66.

substance transparente reçoit directement les rayons du soleil, on voit qu'elle se teinte de couleurs irisées si l'épaisseur de la lame n'est pas la même partout, d'une couleur plate et uniforme si la lame est partout identique à elle-même. Hooke rendait compte de ce phénomène de la manière suivante. Lorsqu'un rayon de lumière rencontre une lame mince, une partie seulement du rayon subit la réflexion sur la surface d'avant, l'autre est réfractée, puis réfléchi par la surface d'arrière de la lame. Ce second rayon, nécessairement affaibli par son passage au travers de la lame, ressort de cette dernière dans la direction même où est passé le premier, et se propage dans l'éther parallèlement à lui. Mais la lumière se communique avec une vitesse finie, et notre second rayon a pris durant la traversée de la lame un retard fini sur le premier. Il s'ensuit qu'une fois rejetés dans l'air, les deux rayons ne chemineront plus de concert comme ils le faisaient dans la lumière primitive. Dans celle-ci les parties fortes et faibles (c'est-à-dire intenses et non intenses) du rayon étaient mélangées. Maintenant la partie la plus forte marche la première, et le deuxième rayon très affaibli suit à un certain intervalle de temps.

Il suit de là que, selon les cas, deux phénomènes peuvent se présenter. Ou bien l'épaisseur de la lame étudiée est assez petite pour que le retard subi par le deuxième rayon soit inappréciable à l'œil, et dans ce cas le faisceau réfléchi fera sur notre organe l'impression d'un faisceau unique, mais d'un faisceau dont la partie la plus intense se propage la première : c'est la définition même du rouge ou du jaune telle que *Hooke* la donne dans sa *Micrographie*. Si l'épaisseur de la lame est plus grande, l'intervalle de temps qui sépare les deux rayons finira par être sensible, et l'œil percevra simultanément non pas le deuxième rayon et le premier, mais le deuxième et un autre qui sera venu frapper ultérieurement la surface d'avant. L'impression ressentie sera celle d'un rayon unique, où les radiations peu intenses précéderaient les radiations intenses : c'est la définition du bleu d'après *Hooke*.

On voit que la théorie des interférences, tout en témoignant de l'ingéniosité de *Hooke*, demeure très imparfaite chez lui. C'est avant tout une théorie *subjective*, expliquant l'origine des couleurs par les propriétés physiologiques de l'œil. Le retard

relatif des rayons intenses et des rayons peu intenses est un fait qui n'apprend rien sur la structure respective de ces rayons, et surtout le degré de ce retard, d'où dépend essentiellement la coloration, n'est pas objectivement mesurable. Il est même surprenant que *Hooke*, partisan convaincu de la théorie des ondulations, et auteur d'une théorie de la diffraction fondée sur le flux et le reflux des ondes, n'ait pas songé à appliquer des considérations du même ordre à l'étude objective des interférences. On ne peut l'attribuer qu'au manque de précision et à l'absence de mesures qui l'obligeaient à se contenter d'explications qualitatives. Newton va reprendre le phénomène des interférences, mais, grâce à une suite d'observations quantitatives, il pourra en déduire les lois des vibrations elles-mêmes, et caractériser l'éther de *Hooke* par des propriétés qui avaient échappé à ce dernier.

Les phénomènes d'interférence découverts par Newton sont ceux des lames minces et des anneaux. Si l'on place une lentille de grande ouverture angulaire au contact d'une lame de verre parfaitement dressée, on constate la formation, autour du point où les deux corps se touchent, d'un système d'anneaux concentriques, alternativement clairs et obscurs. Si la lumière employée est monochromatique, il est possible de compter un très grand nombre d'anneaux, et l'on constate que les anneaux obscurs ont des diamètres qui croissent comme les racines carrées des nombres impairs, tandis que les anneaux brillants croissent comme les racines carrées des nombres pairs. D'ailleurs, selon qu'on observe le phénomène par réflexion ou par transparence, la tache centrale sera noire ou brillante et les anneaux concentriques inversement disposés : un anneau clair par transparence semblera noir par réflexion. Si maintenant on substitue à la lumière monochromatique une lumière blanche, chaque couleur prise isolément produira un système d'anneaux, mais ces anneaux empiètent rapidement les uns sur les autres et à une certaine distance de la tache centrale on retrouvera du blanc d'ordre supérieur.

Tel est le phénomène découvert par Newton. Quelles conclusions en devait-il tirer en ce qui concerne la nature de la lumière ? Conformément à sa méthode ordinaire, Newton commence par rechercher de quelles grandeurs physiques sont

fonctions les alternatives de lumière et d'obscurité. Elles dépendent certainement des deux surfaces de la lame, puisqu'elles dépendent de son épaisseur. Si, comme certains le prétendent, c'est la surface d'avant de la lame qui était le siège de tout le phénomène, on ne comprendrait pas que celui-ci changeât d'aspect lorsque, l'épaisseur augmentant, cette surface demeure la même. Pareillement il est impossible de croire que la surface d'arrière intervienne seule, car si au moment où le rayon touche cette surface il ne gardait pas quelque chose de l'impression reçue au contact de la première, on ne comprendrait pas que l'éloignement de celle-ci modifiât l'influence de celle-là¹. La seule idée qui ressorte des faits est donc *qu'il se propage quelque chose d'une surface à l'autre*, et ce quelque chose peut être modifié par le simple accroissement de l'épaisseur.

Mais les modifications qu'apporte l'épaisseur présentent le caractère tout particulier d'être *périodiques*. Si une certaine épaisseur produit l'extinction de la lumière, on est certain que les extinctions suivantes auront lieu pour des épaisseurs différant entre elles de quantités constantes. Entre deux extinctions se trouve d'ailleurs un maximum d'intensité, et les maxima s'échelonnent périodiquement comme les minima. Cette périodicité doit se retrouver dans l'ébranlement lumineux qui traverse la substance de la lame. On peut dire que l'ébranlement lumineux manifeste à intervalles égaux une tendance à la réfraction et une tendance à la réflexion. Selon qu'il rencontre dans le milieu matériel une disposition qui favorise ou contrarie la sienne propre, on aura à constater une frange lumineuse ou une frange obscure. Ainsi la périodicité du phénomène des anneaux permet de conclure à la périodicité du rayon lumineux. Tout rayon de lumière pendant son passage au travers d'une surface réfringente rencontre une certaine « constitution ou disposition de passage, qui se répète ensuite à intervalles égaux tout le long du rayon, et fait que dans certaines phases le rayon va se transmettre facilement à travers une

1. V. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, Prep. XII. « Pendet hæc alterna reflexio ac refractio ab utraque superficie cujusque tenuis lamellæ; pendet enim ex distantia ipsarum inter se..... Porro consequens est effici eam in secunda superficie. Si enim in prima superficie efficeretur, antequam radii ad secundam pervenirent, utique non penderet ex secunda. »

seconde surface réfringente, dans d'autres phases, alternant avec les premières, il va subir la réflexion ⁴.

Nous pouvons alors définir d'une manière précise deux propriétés nouvelles de la lumière. Tout rayon lumineux possède des *alternances de facile réflexion* (vices facillioris reflexionis) ; ce sont les moments où sa structure est telle qu'il puisse être réfléchi par une surface interposée. Il possède aussi des *alternances de facile transmission*, ce sont les moments où sa structure est telle qu'il subira nécessairement la réfraction ⁵. Remarquons que l'action ou la disposition qui produit effectivement ces alternances nous est totalement inconnue. Est-ce un mouvement circulaire ou vibratoire du rayon ? C'est ce que Newton laisse volontairement indécis ⁶. Nous pouvons pourtant conclure des faits, avec une probabilité extrêmement grande, que la conception classique du rayon lumineux, envisagé séparément du milieu éthéré, est inexacte. Il ressort manifestement de l'expérience des anneaux qu'un rayon de lumière ne rencontre pas dans les corps réfléchissants ou réfringents une indifférence parfaite à son action. La surface d'un corps se comporte toujours comme si elle était *prédisposée* par une force cachée, soit à réfléchir le rayon qui se trouve dans une phase de facile réflexion, soit à transmettre le rayon qui se trouve dans une phase de facile réfraction. Il faut donc qu'on admette, quoi qu'il en coûte, une action du rayon sur la substance transparente, action anticipée en ce sens qu'elle précède l'arrivée du rayon lui-même. Ceci ne peut se comprendre que si on se représente le rayon lumineux comme suscitant autour de lui des ondes équidistantes, correspondant aux alternances dont il est lui-même agité. Ces ondes extrêmement rapides précèdent le rayon dans sa course, comme

1. V. *Lect. Opt.*, *ibid.* « Omnis radius luminis in transmissu suo per quamlibet superficiam refringentem nanciscitur constitutionem quamdam seu dispositionem transitoriam, quæ in radii progressu æqualibus revertitur intervallis, efficitque uti in singulis dispositionis istius accessibus, transmittetur facilius per superficiem refringentem proxime deinceps subjectam ; in singulis autem ejusdem intermissibus sive intervallis, reflectitur facilius ab ejusmodi superficie ».

2. *Lect. Opt.*, L. II, P. III, p. 219.

3. *Ibid. Prop.*, XII. « Actio autem hæc sive dispositio qualis tandem sit ; utrum consistat in motu quodam circulatorio, an vibratorio, radii ipsius vel etiam medii, an plane alia aliqua ex causa pendeat ; in id vero ego hic non inquirō. »

les sons émis par une corde vibrante se propagent bien plus vite que le mouvement de la corde. Elles jouent le rôle d'avant-coureurs et vont affecter les substances transparentes avant que le rayon proprement dit les rencontre. Les moments de facile réflexion et les moments de facile transmission sont donc préparés à distance par le rayon lui-même¹, et cela grâce à un mécanisme obscur, celui des ondes rayonnantes. De pareilles ondes, précédant de beaucoup le transport des particules matérielles, ne peuvent se propager que dans l'éther. Il est possible d'expliquer par elles tous les détails des phénomènes d'interférences, et si Newton conserve à côté d'elles l'hypothèse d'une émission directe, il est visible, à mesure qu'on approche de la fin de l'*Optique*, que les *ondes* et non les *rayons* sont le véritable véhicule de la lumière.

VII

D'après le passage de l'*Optique* qu'on vient d'analyser, il semble que Newton ait non seulement fait des concessions à la théorie de *Hooke*, mais se soit rangé presque ouvertement à une théorie ondulatoire de l'éther. Il semble en effet, si l'on fait la part des différences de vocabulaire, qu'il y ait coïncidence à peu près complète entre la théorie des interférences que donne l'*Optique* et les théories modernes. Nous savons pourtant que dans l'histoire de la physique Newton est représenté comme un partisan irréductible de la théorie de l'émission. On le dépeint d'ordinaire comme directement opposé aux conceptions de *Hooke* et de *Huyghens*. Nous venons de faire voir ce que cette tradition a d'inexact. Il demeure vrai néanmoins que Newton ne peut pas être regardé comme un partisan absolu des théories de l'éther, et en ce sens il a quelque chose de juste dans l'opinion qui lui attribue jusqu'à la fin de sa vie un penchant pour les théories de l'émission. Nous devons rechercher pour quelles causes Newton ne se

1. *Ibid.* « Moveri eas (vibrationes) velocius utique quam ipsos Radios. adeo ut illos antevortant, et consequenter radium unumquemque ita esse comparatum, ut vibrationibus singulis eum præventibus reflectetur is facilius, vel facilius transmittatur, vicibus alternis ».

range pas d'une manière dogmatique à la théorie de l'éther, et bien qu'il la considère comme la plus utile de toutes, conserve à son égard une attitude de réserve, qui est demeurée l'attitude de la science positive.

Deux causes militent en faveur d'une théorie plus complète que celle de *Hooke*.

C'est d'abord le fait capital de la propagation rectiligne ¹. En vain *Hooke* a essayé de faire voir que ce que nous appelons « rayon lumineux » est toujours perpendiculaire au front de l'onde, et que par suite le rayon lumineux est nécessairement rectiligne, du moment que la propagation se fait au moyen de sphères concentriques. Le cas qu'il envisage est purement théorique, car jamais la nature ne nous présente de source rigoureusement ponctuelle, donnant lieu à des ondes exactement sphériques, et même si un tel système d'ondes existait, il ressort de la théorie de la diffraction, comme *Hooke* lui-même l'a établie, qu'à la rencontre d'un obstacle matériel la propagation de la lumière est troublée et se fait toujours suivant un rayon curviligne.

Mais il y a plus. On peut indépendamment de toute étude expérimentale sur la diffraction, prévoir *a priori* que la lumière ne peut se propager en ligne droite si elle consiste uniquement en ondulations de l'éther. Il suffit de partir de la définition de l'éther, envisagé comme un fluide parfait, et d'appliquer à l'éther les théorèmes généraux de l'hydrodynamique pour voir qu'une perturbation quelconque ne peut, sauf dans des cas exceptionnels, y suivre un chemin rectiligne. C'est la démonstration que fait Newton dans le second livre des *Principes* ². Tout mouvement propagé par un fluide s'éloigne de la ligne droite dans des espaces immobiles. Il est donc de la nature des perturbations hydrodynamiques de se « diffracter » spontanément, c'est-à-dire de n'offrir aucune direction privilégiée suivant laquelle la perturbation se concentre. « La lumière se propageant en ligne droite ne peut donc consister dans la seule action du milieu ».

Si l'on veut rendre compte de la propagation rectiligne il faut revenir dans une certaine mesure à l'idée d'une émission

1. Cf. *Newtoni Resp. ad. Obj. aliq.*, 1672, Phil. Trans., n° 80.

2. V. *Principes*, L. II, S. 8, Prop. L. Scholie.

de particules matérielles, qui en vertu de leur inertie tendent à poursuivre leur chemin en ligne droite. Il faut donc adjoindre au milieu éthéré où les ondes circulent un milieu matériel qui suscite et qui guide ces ondes. L'éther, envisagé tout seul, explique peut-être l'ensemble des phénomènes de l'optique physique, mais il ne suffit pas à rendre compte des lois fondamentales de l'optique géométrique. *Huyghens* démontrera plus tard qu'il est possible d'échapper aux conclusions de *Newton*. Mais pour l'auteur des *Principes*, on ne peut admettre que la lumière se propage en ligne droite si l'on rejette en même temps tout ce qui ressemble à une théorie de l'émission.

La conception d'un éther immatériel servant à expliquer toutes les particularités de la lumière reçoit une autre atteinte d'un ordre de faits importants. Ceux qui veulent rendre compte de tous les phénomènes optiques en faisant abstraction des milieux matériels, oublient que les phénomènes optiques eux-mêmes sont sous la dépendance directe de certaines propriétés matérielles. L'éther qui est répandu dans tout l'univers ne jouit pas des mêmes propriétés selon qu'on l'envisage à l'état libre ou inclus au sein des masses matérielles. C'est ainsi qu'à l'état libre l'éther laisse passer des rayons rectilignes sans modifier leur direction, tandis que l'éther inclus dans un prisme de verre ne laisse passer ces rayons que moyennant réfraction. On peut aller plus loin. Le fait même que la réfringence des corps est en relation avec leur substance, indique clairement que le milieu éthéré est constitué d'une manière différente selon la matière où il réside. Il y a chez *Newton* une tentative extrêmement curieuse de rattacher d'une manière systématique les propriétés physiques et chimiques de la matière aux propriétés optiques de l'éther qui lui est associé. C'est là un véritable essai de « chimie physique » dont la proposition dixième du Livre II de l'*Optique* (III^e partie) donne une idée assez exacte. Le pouvoir réfringent ne dépend pas seulement des différences de densité. Il est vrai que les milieux de grande densité sont plus réfringents que le vide. Mais outre la densité il faut envisager la nature chimique des corps. Les substances onctueuses et sulfureuses sont, toutes choses égales d'ailleurs, plus réfringentes que les autres, et il est probable que si nous possédions une classification rationnelle des pro-

priétés chimiques, nous aurions du même coup une classification des propriétés optiques. Si deux corps chimiquement bien distincts, comme le sel et le vitriol, possèdent des caractères optiques définis, il est certain que les substances chimiquement intermédiaires seront caractérisées par des propriétés intermédiaires. Il ressort de là, que la matérialité des corps n'est pas indifférente à la faculté qu'ils ont de propager ou d'arrêter la lumière.

La même conclusion peut se tirer du principe de l'action et de la réaction. Ne savons-nous pas que la lumière agit sur les substances matérielles, qu'elle peut les échauffer, les épaissir, les enflammer, les décomposer ? Mais si la lumière agit sur la matière, il faut qu'inversement la matière agisse sur la lumière. Déjà la diffraction en est une preuve. Elle montre qu'au voisinage de la matière, l'éther est déformé. Mais Newton prétend aller plus loin, et conformément au principe de l'égalité de l'action et de la réaction, il démontre que les corps les plus impressionnables à la lumière sont aussi ceux qui doivent apporter à sa propagation le trouble le plus marqué. Les corps sulfureux qui s'enflamment facilement au soleil sont ceux qui doivent dévier davantage la lumière réfractée ¹. L'eau et les dissolutions aqueuses, que la lumière échauffe fort peu, comptent parmi les substances les moins réfringentes ². Sans entrer dans le détail des vues développées par Newton, vues souvent confirmées par les progrès de la chimie, il nous suffira de dégager l'idée essentielle, qui est celle d'une action et réaction mutuelles de la matière et de l'éther. Si la théorie des ondulations doit être admise, ce ne peut donc être comme explication exclusive. Il est des phénomènes d'optique où à côté du fluide étheré la matière intervient directement ³.

Dans le Mémoire de 1675 dont il a déjà été parlé, Newton

1. V. *Lect. Opt.* L. II, P. III, Prop. X. « Ut autem lumen vitro ustorio coactum agit fortissime in corpora sulphureosa, quo ea in ignem et flammam convertuntur; sic, quando omnis quidem actio est reciproca, sulphureosa agere debent fortissime ibidem in radios luminis ».

2. C'est par une application du même principe que Newton conclut de la grande réfringence du diamant à la probabilité pour que le diamant soit combustible.

3. La physique moderne a complètement confirmé sur ce point les idées de Newton. Si l'hypothèse d'un milieu vibrant peut servir à résoudre le problème général des interférences, il faut lorsqu'on passe à l'étude de

précise sur quelques points la notion qu'il faut se faire des rapports de l'éther et de la matière. Nous posons, dit-il, l'éther comme une substance analogue à l'air, mais beaucoup plus tenue, et en même temps beaucoup plus élastique. Il est composé d'une matière relativement grossière à laquelle sont mélangés différents fluides éthérés. L'éther pénètre tous les corps, mais il ne les traverse pas sans obstacle. Ces corps présentent une certaine résistance qui fait que l'éther est moins dense à l'intérieur de la matière qu'à l'état libre, et moins dense dans certains corps que dans d'autres. Ce sont ces variations de densité de l'éther, variations qui sont en rapport avec la nature de la substance où il réside, qui sont la cause de la cohésion tant des solides que des fluides. L'élasticité du verre et d'autres substances est due à la même raison, qui explique aussi que le mercure, dans les expériences de Torricelli, reste suspendu au sommet d'un tube dont la hauteur dépasse sensiblement vingt-neuf pouces. La contractilité des muscles, l'irritabilité des nerfs, tiennent leur origine de faits analogues.

Quant à ce que nous nommons lumière, on peut le concevoir distinct de l'éther, mais il faut admettre de toute nécessité qu'entre la lumière et l'éther il y a action et réaction mutuelles. Quand un rayon traverse une région de l'éther où la densité est uniforme, il poursuit sa marche en ligne droite. Quand il se meut au sein d'un éther de densité variable, il reçoit constamment des chocs dirigés du côté où l'éther est le moins dense et tend par suite à s'infléchir de ce côté. Un rayon qui passe d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense doit donc tendre à devenir progressivement parallèle à la surface de séparation. S'il était d'abord parallèle à cette surface, il doit être totalement réfléchi. Si l'on demande pourquoi les rayons qui tombent sur une même surface sont partiellement réfléchis et partiellement transmis, il faut dire que par les actions mutuelles de la lumière et de l'éther, l'éther contenu dans les corps est mis en vibration. Ces vibrations ont pour effet de créer alternativement dans l'éther des ondes d'expansion et des ondes de compression. Les rayons de lumière qui tombent sur l'éther

l'absorption et de la dispersion faire intervenir les propriétés spécifiques des corps (Voir par exemple Helmholtz, *Théorie Electromagnétique de la Lumière*, et P. Drude, *Physik des Aethers*).

comprimé sont naturellement réfléchis, tandis que les rayons qui rencontrent les parties raréfiées peuvent être transmis.

Le fait que Newton ne conçoit pas l'éther sans l'associer à la matière, ou pour employer un autre langage, le fait qu'il laisse même dans la théorie des ondulations quelque chose qui rappelle la théorie de l'émission, a souvent donné le change sur sa pensée véritable. A certains commentateurs peu soucieux de l'évolution historique et qui ont voulu trouver dans les allusions de Newton le développement déjà achevé de la théorie ondulatoire, il a été répondu que nulle part Newton n'accepte nettement l'hypothèse de l'éther, qu'il est parti des théories moléculaires et qu'il revient en dernière analyse aux conceptions moléculaires. Tel est l'avis de *F. Rosenberger*, l'éminent historien de la physique newtonienne ¹. Tel était déjà, semble-t-il, l'avis de *Young*, un des fondateurs de l'optique mathématique. Nous avons insisté sur les raisons qui ont empêché Newton d'admettre, sans restriction, la théorie de l'éther, et nous allons montrer dans un instant qu'à tous les motifs déjà énumérés, s'ajoute un motif philosophique, plus puissant que tous les autres. Il nous semble pourtant difficile de soutenir que la théorie des ondulations n'a pas pris dans la physique de Newton une place de plus en plus prépondérante et que les *Quæstiones opticae*, par exemple, qui datent de 1717, ne sont pas plus voisines de l'hypothèse de l'éther que la *Théorie de la Lumière et des couleurs*.

Le désir de *Rosenberger* est de justifier Newton contre la critique, en effet très superficielle, d'avoir démenti dans l'appendice de l'*Optique* les principes directeurs de toute sa physique, le principe de non-action à distance et le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Il est certain qu'un pareil reproche ne porte pas contre la théorie de Newton, mais ce n'est pas comme le croit *Rosenberger*, parce que Newton répudie finalement l'éther, c'est parce que l'éther, tel qu'il le conçoit, est justement créé pour servir d'intermédiaire aux forces corporelles, et pour permettre le libre jeu des actions et des réactions. Nous ne pouvons attacher la même impor-

1. Cf. *F. Rosenberger, Isaac Newton, u. s. phys. Prinzipien*, Ch. 3, p. 309, sqq.

tance que *Rosenberger*¹ à la distinction d'un éther continu et d'un éther composé de particules disjointes. Newton aurait, dit-on, rejeté le premier et admis, au moins sous réserves, le second. C'est là une distinction qui peut avoir son importance dans un système comme celui de Descartes ou de Gassendi. Mais dans la physique mathématique de Newton les milieux continus et les milieux discontinus se ressemblent étrangement : il n'y a entre eux que la différence des images aux modèles, des sommes aux intégrales². Il suffit, pour s'en persuader, de se reporter au livre des *Principes*, où la dynamique des fluides continus est constituée sur une base solide en partant d'une définition où les fluides sont envisagés comme formés de molécules distinctes. Lorsque Newton parle d'ondes qui se propagent dans l'éther, il est difficile de concevoir de pareilles ondes sans attribuer une continuité au moins apparente au milieu qu'elles traversent.

La véritable raison qui fait que Newton, tout en s'approchant notablement des théories ondulatoires, ne les accepte jamais entièrement, nous semble devoir être cherchée dans des considérations historiques d'un caractère plus modeste. Il est hautement probable que Newton se fût prononcé d'une manière beaucoup plus catégorique en faveur de la théorie de l'éther, s'il n'avait pas vu *Hooke* prétendre accaparer cette théorie comme une invention personnelle, et la développer d'une façon dogmatique sans souci du contrôle expérimental. Le premier point choquait Newton dans ce que son caractère avait de susceptible et de nerveux, le second ne pouvait se concilier avec l'esprit positif auquel Newton tenait avant tout. Il faut remarquer que la communication lue par Newton au début de l'année 1675 devant la Société Royale de Londres, loin de paraître à *Hooke* ce qu'elle était, c'est à-dire un pas décisif fait dans le sens de ses propres doctrines, éveilla chez lui cet instinct de polémique qui semble un trait de son caractère.

1. Cf. *Isaac Newton u. s. physik. Prinzipien*, p. 309 en note. « Es ist nöthig immer in Auge zu behalten dass Newton den Äther, den er absolut verwirft, sich stets in Descartes'scher Weise als den Raum continuirlich erfüllend denkt, während er einem atomistisch zusammengesetzten Äther, dessen Atome verhältnissmässig weit von aneinander entfernt sind, überall günstiger gesinnt ist. »

2. Cette idée est à rapprocher d'une idée toute semblable énoncée par M. H. Poincaré au début de sa *Théorie de l'Élasticité*.

De 1675 à 1677 la querelle entre *Hooke* et Newton s'envenima au point qu'ils sortirent l'un et l'autre définitivement aigris d'une discussion qui n'apportait rien de nouveau. Le caractère de *Hooke*, d'après l'aveu de son biographe *Walter*, alla en s'assombrissant à partir de ce moment, et Newton, si irritable par tempérament, renonça désormais à toute conciliation. En voyant *Hooke* tenter d'expliquer par l'éther, et par l'éther seulement, toutes les expériences, y compris celles de Newton lui-même, ce dernier ne put s'empêcher d'imposer des limites à une théorie aussi ambitieuse. Ceci explique les efforts tentés par Newton jusqu'à la fin de sa vie pour réintégrer dans la théorie de l'éther cet élément matériel que *Hooke* avait nié.

On comprend ainsi des développements comme ceux des *Quæstiones opticae* ¹, où Newton va jusqu'à se demander s'il n'y a pas au fond identité entre les corps matériels et la substance de l'éther, si les corps compacts ne peuvent pas se transformer en lumière et si la lumière, en se condensant, ne peut pas devenir matière ². Ce sont là des vues qui démontrent clairement que dans la dernière exposition de sa doctrine Newton ne « rejette » pas la théorie de l'éther. Au contraire, il la considère comme utile, comme féconde, comme véritable. Seulement cette théorie ne doit pas se transformer, comme chez *Hooke*, en un système de dogmes physiques. Il convient de lui laisser l'ampleur et l'élasticité d'une hypothèse, et pour cela de lui associer en partie l'hypothèse que *Hooke* prétendait bannir, celle d'une émission mécanique du flux lumineux.

On arrive de la sorte à se demander si l'attitude de Newton vis-à-vis des théories de l'éther n'est pas en relation étroite avec l'ensemble de sa philosophie scientifique. Soit que Newton adoptât une théorie moléculaire, soit qu'il se rangeât à une théorie ondulatoire de la lumière, pouvait-il le faire d'une manière dogmatique, sans aller contre les règles de méthode exprimées dans les *Principes*? Lui était-il possible d'accepter

1. *Quæst. opt.* XXX.

2. Cf. *Quæst. opt.* XXX. « Annon corpora crassa et Lumen in se mutuo converti possunt?... ut corpora transmutantur in lumen et lumen in corpora valde admodum congruens est naturae ordini et rationi, quae in istius modi conversionibus quasi delectari videtur.

pleinement, définitivement, une *hypothèse*, sans contredire la notion même d'hypothèse telle qu'il la comprend ?

C'est dans cet ordre d'idées qu'il faut chercher la réponse aux difficultés de principe qu'a soulevées de tout temps l'optique newtonienne. Newton ne pouvait trouver ni dans l'hypothèse de l'émission, ni dans l'hypothèse des ondulations une explication complète des phénomènes, et cela pour la raison qu'une hypothèse n'a jamais pour but de fournir l'explication, mais seulement la représentation des phénomènes. A maintes reprises nous avons vu que Newton refusait de mettre à la base de son optique rien qui ressemblât à une hypothèse au sens où l'entendaient *Hooke* et *Pardies*. Il y avait là une mesure de tactique, une précaution destinée à éviter que les discussions s'éternisent. Mais il y avait là aussi une conviction profonde, celle que le choix des hypothèses peut souvent être indifférent. Le savant positif, pour qui la méthode expérimentale se suffit à elle-même, se jugera satisfait sitôt qu'il possède la loi mathématique des phénomènes. C'est ainsi que dans l'étude des lames minces, il ne recherchera rien au-delà de la formule précise, découverte par Newton, qui donne le diamètre des anneaux en fonction de leur rang et de l'épaisseur de la lame.

Mais la plupart des théoriciens ne se contentent pas de cette vue mathématique. Il leur faut, pour qu'une explication leur paraisse scientifique, qu'elle fasse connaître la *cause* du phénomène. Remarquons que cette cause leur échappe fatalement. Une théorie de l'éther, pas plus qu'une théorie moléculaire, ne peut nous apprendre quelle est la *cause* de la lumière, car toutes deux se heurtent à l'obstacle inévitable : si la lumière vient des ondes éthérées, quelle est la cause de l'agitation de ces ondes ? Si elle provient du choc des particules, quelle cause donne aux particules leur mouvement ? A la recherche des *causes*, Newton prétend partout substituer celle des *origines*. S'il est impossible de savoir ce qui produit réellement la lumière, il est très possible de rechercher quelles sont les propriétés fondamentales des rayons lumineux, et d'examiner si ces propriétés existent déjà dans la source lumineuse, prennent naissance à la traversée du milieu, ou ne se forment qu'à la rencontre du rayon avec les surfaces réfringentes. C'est à la

suite de recherches de ce genre que Newton a été amené à trouver l'origine des couleurs dans certaines propriétés « innées et immuables » (insitæ atque immutabiles) qui accompagnent le rayon dès qu'il existe. Ces propriétés sont d'abord sa réfrangibilité, qui varie d'un rayon à l'autre et est caractéristique de la couleur; ensuite la propriété périodique qui existe tout le long du rayon et qui est mise en évidence par le phénomène des interférences. L'existence physique de ces propriétés est certaine, leur définition mathématique peut se faire d'une façon de plus en plus précise. Cela suffit pour qu'une optique positive soit possible.

Maintenant, que certains esprits plus soucieux d'une rigueur factice que de la certitude expérimentale, veuillent remonter au delà de ce que fournit l'expérience et substituer l'hypothèse aux faits, on n'en peut conclure qu'une chose, c'est leur incapacité de se représenter les faits d'une manière abstraite et mathématique, et l'importance personnelle qu'ils attachent aux figurations sensibles¹. En mettant à la place du rayon lumineux, tel que le bon sens le perçoit, une émission de particules solides ou un jeu d'ondes qui se propagent, ils soulagent simplement leur entendement en lui apportant le secours de l'imagination. Newton admet que le procédé puisse être employé par les savants, pourvu qu'on ne fasse pas de ces considérations le but principal de la science. Voilà pourquoi Newton est partisan de l'éther, dans la mesure où la conception de l'éther peut suggérer et coordonner des expériences. Voilà pourquoi il n'en est pas partisan absolu, persuadé que l'hypothèse de l'éther n'est ni parfaite ni définitive.

Il est facile de trouver une confirmation de ce qui précède dans le ton même des « Quæstiones opticæ » et dans la manière dont y sont présentées la théorie de l'émission et celle des ondulations. Il est à remarquer que cette dernière se trouve

1. Cf. par exemple *Lect. Opt.* L. II, P. III. Prop. XII. « Qui hoc in animum suum inducere non possunt, ut quicquam novi aut recens inventi accipiant, quod nequeant continuo hypothesi aliqua explicare; his in præsentia illud quidem sibi fingere licebit (suit la comparaison de la lumière avec les ondes à la surface de l'eau)..... Verum, utrum hæc hypothesis vera sit necne in id, inquam, ego hic non inquirō. Satis habebō. illud ipsum jam invenisse, utique luminis radios ita esse comparatos, ut aliqua ex causa alternatim reflectantur facilius et facilius refringantur per multas vices. »

exposée par Newton bien avant l'autre¹, mais qu'elles sont revêtues toutes deux de la même forme dubitative. Lorsqu'une pierre est jetée dans une eau calme, les ondes excitées par le choc sont d'abord localisées à l'endroit où la pierre est tombée, puis elles se propagent à la surface de l'eau par cercles concentriques jusqu'à des intervalles très éloignés. De même, les vibrations ou les tremblements excités dans l'air par un choc quelconque peuvent se transporter par ondes sphériques du centre d'ébranlement jusqu'aux plus lointaines distances. Ne serait-il pas possible qu'un rayon lumineux frappant une surface réfringente excite dans l'éther des vibrations du même genre ? Ces vibrations ne pourraient-elles se propager du point d'incidence jusqu'à des points très éloignés ? Ne peut-il se faire que les rayons lumineux modifient l'éther qui se trouve sur leur chemin et y créent ces alternances de réflexion et de réfraction dont l'observation des anneaux nous montre l'effet ? Ne peut-on admettre que le milieu éthéré augmente de densité lorsqu'on passe de l'eau, du verre, ou du cristal au vide, et que ces variations de densité soient l'origine des déviations et réfractions ? — Et Newton continue à exposer les propriétés hypothétiques de l'éther sans rien dire qui permette de conclure à la vérité objective de cette hypothèse.

Lorsqu'il arrive à l'idée de l'émission, il observe exactement le même ton interrogatif. Les rayons de lumière ne sont-ils pas de petits corpuscules émis par les corps incandescents ? N'est-il pas possible que les corps grossiers se transforment en lumière et la lumière en corps ? Les particules matérielles ne possèdent-elles pas des forces, puissances ou vertus, qui leur permettent d'agir sur les rayons de lumière en produisant la réflexion, la réfraction, la diffraction ? Et Newton poursuit les conséquences de cette seconde hypothèse jusque dans le détail, mais sans rien affirmer de plus qu'avant sur l'essence véritable des phénomènes. Si l'on réfléchit que les *Quæstiones opticæ* sont le dernier ouvrage d'optique écrit par Newton, si l'on se rappelle que la forme dubitative y est observée volontairement et par méthode, on arrive nécessairement à cette

1. V. *Quæst.* XVII. La théorie de l'émission est résumée seulement dans le *Quæst.* XXIX.

conclusion. que Newton, dans la dernière exposition de sa doctrine, a pensé qu'il était possible de construire l'optique en se passant de toute hypothèse. De fait, il proteste constamment contre ceux qui veulent rendre son système solidaire, soit de l'hypothèse de *Hooke*, soit des hypothèses contraires. La vérité est que le choix à intervenir entre l'hypothèse de l'éther et les autres n'était pas ce qui le préoccupait surtout. Un tel choix ne peut se faire que lorsque la recherche expérimentale est parvenue à point. Newton pensait que l'optique de son temps avait encore trop à faire dans la voie empirique pour se hasarder dès l'abord aux hypothèses. Les hypothèses pourront venir plus tard, au moment où des formules rigoureuses leur serviront d'appui. Mais à ce moment il est probable que la théorie de l'éther, comme celle de l'émission, auront fait leur temps, et que l'avantage scientifique reviendra à des idées aujourd'hui méconnues.

Si Newton, par fidélité à ses principes, refuse en fin de compte d'envisager l'éther autrement que comme une hypothèse provisoire, on peut se demander si cette attitude a servi aux progrès ultérieurs de la science, ou s'il n'eût pas mieux valu que Newton, fût-ce au prix d'une inconséquence, se décidât fermement pour ou contre l'éther. La question ainsi posée est entièrement indépendante de celle de savoir si l'éther newtonien est tout à fait identique à l'éther des modernes. Nous nous demandons simplement si l'esprit positif n'a pas été poussé trop loin par Newton, et si un peu plus de dogmatisme n'eût pas favorisé l'extension de ses idées.

A cette question nous pouvons répondre hardiment que les scrupules excessifs de Newton ont véritablement nui aux progrès de l'optique. Nous admirons aujourd'hui, et à juste titre, l'optique newtonienne comme l'application parfaite d'une méthode scientifique positive. La part du certain et celle de l'incertain y sont faites rigoureusement, jamais l'hypothèse ou même la théorie n'empiète sur le fait. Mais les qualités de méthode ne sont pas celles dont a le plus besoin la science à ses débuts. Comme Newton l'a nettement compris en maintes parties de ses ouvrages, les scrupules de méthode dénotent déjà un état avancé de la science et il est bon qu'à ses débuts celle-ci soit libre de tout lien. Or on peut dire qu'à l'époque des

premières recherches de Newton l'optique physique n'était pas née encore. Les travaux de *Grimaldi*, de *Descartes*, de *Hooke* n'étaient que des approximations grossières fondées sur des faits souvent inexacts. Il était donc bon que toutes les hypothèses fussent admises provisoirement dans la science. Au lieu de les traiter toutes, comme le fait Newton, sur un ton uniformément dédaigneux, il eût été utile d'en choisir une, l'hypothèse de l'éther par exemple, et de la développer dogmatiquement sans souci des objections de principe. C'est ce qu'avait fait *Hooke*, et malgré les critiques de Newton, il faut reconnaître que le dogmatisme de *Hooke* avait eu sa force et sa fécondité. Le positivisme rigoureux de Newton ne pouvait convenir qu'à un physicien de génie, capable de se passer de représentations concrètes. Mais les progrès de la science ne sont pas le fait exclusif du génie. A mesure que les connaissances positives progressent, il devient plus important que les chercheurs ordinaires soient mis en état d'achever l'œuvre commencée. Pour ceux-là les hypothèses sont nécessaires, et il faut que ces hypothèses soient dogmatiques, étroites, exclusives.

On le vit bien après la mort de Newton, lorsque les physiciens qui se réclamaient de son nom se partagèrent en deux groupes opposés, les uns, les moins nombreux, développant surtout les aperçus du maître dans le sens de la théorie de l'éther, les autres revenant de préférence aux conceptions de l'émission. Or il est certain que la théorie de l'éther devait au cours du XVIII^e et du XIX^e siècle devenir de plus en plus importante en optique, alors que l'émission allait jouer un rôle moins grand de jour en jour. Il fut même un temps où à la suite des découvertes de *Young*, de *Fresnel*, de *Malus*, on considéra la théorie de l'émission comme une erreur désormais bannie de la science et remplacée définitivement par la théorie des ondu-lations. Si cette dernière eut tant de difficulté à s'établir, c'est précisément à cause de la résistance des derniers disciples de Newton qui, abusant des réserves qu'il avait faites touchant la théorie de l'éther et du penchant qu'il a toujours montré pour l'idée de l'émission, opposèrent dogmatiquement l'autorité de son nom aux prétentions de l'optique moderne. On peut rattacher à ce faux newtonisme, aussi contraire que possible aux

idées du maître, la répugnance opiniâtre que des physiciens comme *Biot* opposèrent jusqu'en 1820 au système des ondulations. Sans s'en rendre compte, ces physiciens se faisaient les interprètes d'une théorie qui n'était pas la théorie newtonienne. Ils croyaient être seuls fidèles aux doctrines de Newton parce qu'ils recherchaient désespérément une conciliation entre les deux hypothèses contraires de l'émission et des ondulations¹. En réalité cette conciliation n'avait nullement été le but de Newton. Celui-ci n'avait combiné les deux hypothèses que par crainte d'un dogmatisme hâtif excluant l'une au profit de l'autre. Mais il est hautement vraisemblable que, vivant au XIX^e siècle et contemporain de *Fresnel*, Newton se fût décidé à regarder l'hypothèse de l'éther comme celle qui, dans l'état actuel de la science, peut avec le moins de dangers rendre le plus de services.

VIII

Jusqu'ici nous nous sommes tenus sur le seul terrain de l'optique pour chercher comment Newton avait pu être conduit à une théorie de l'éther et quelle signification cette théorie doit recevoir. En effet les travaux optiques de Newton ont été, tant chronologiquement que logiquement, le point de départ de sa conception de l'éther. Il est temps de signaler maintenant les autres origines de cette idée, de montrer sa mise en valeur dans des domaines nouveaux, et de rechercher si ces applications n'en ont pas modifié le caractère.

Dès son mémoire de 1675², Newton parlait de *plusieurs éthers*. L'éther, disait-il, n'est pas homogène. Il se compose d'une matière relativement grossière et de différents fluides éthérés. C'est là une conséquence du fait des attractions électriques et magnétiques, comme aussi de l'existence de la gravité. De même que l'air atmosphérique est composé première-

1. V. par exemple *Biot, Précis élémentaire de Physique Expérimentale*, 1818. L'auteur explique que ce serait une belle et importante découverte si l'on pouvait arriver à mettre d'accord les apparences de l'optique physique avec la matérialité de la lumière.

2. V. *Birch, History of the Royal Society*, T. III, p. 247 sqq.

ment d'air proprement dit, puis d'un mélange de vapeurs et d'émanations diverses, il se peut que tout le système du monde ne soit qu'un mélange d'esprits éthérés, qui peuvent se condenser tout comme les vapeurs bien qu'avec moins de facilité. Cette condensation a été opérée directement à l'origine par la volonté du créateur. Ensuite elle s'est continuée sous l'influence des forces naturelles.

Prenons l'exemple des émanations électriques. Elles semblent prouver que les corps matériels renferment un fluide électrique à l'état de condensation. J'ai pris, dit Newton, dans différents essais une lame de verre enchâssée au milieu d'une plaque de métal et je l'ai frottée avec une étoffe rugueuse jusqu'à ce qu'elle attirât de petits fragments de papier placés sur la table. Selon la position que je donnais à mon doigt sur la partie supérieure de la plaque, je voyais les fragments de papier sauter irrégulièrement et se détourner de leur chemin. C'est là un phénomène qu'il m'est impossible de concevoir autrement qu'en supposant l'existence d'une matière éthérée, condensée dans le verre. Cette matière est volatilisée par le frottement, et dans l'espace clos où j'opérais, elle donne lieu à des tourbillons qui entraînent le papier, jusqu'au moment où elle se condense à nouveau et rentre dans la lame.

Quelle que soit l'étrangeté de cette explication, elle équivaut à l'affirmation d'un *fluide électrique*. Ce fluide n'est évidemment pas matériel, puisque la lame de verre ne perd ni ne gagne de poids pendant le cours d'une expérience ¹. C'est donc un fluide immatériel, c'est-à-dire un éther. Les phénomènes magnétiques peuvent donner lieu à des inductions du même genre, et il doit exister un fluide magnétique distinct du fluide électrique. Nous voilà revenus, par une voie différente de l'optique, à l'hypothèse de l'éther, et nous découvrons en même temps que cet éther n'est pas homogène, mais est un assemblage d'éthers différents.

A côté de l'éther électrique et de l'éther magnétique, Newton est amené à admettre l'existence d'un éther physiologique. La

1. Cf. *Quæst. Opt.* XXII. « Corpus electricum, quum fricetur, exhalationem emittere potest tam raram tamque subtilem, et tamen eodem tempore tanta vi præditam, ut quamvis emissione ipsius nihil quicquam de corporis electrici pondere (quod quidem sensu percipi queat) diminuatur, valeat tamen auri cuprive bracteas agitare et sursum ferre. »

genèse des sensations est une des questions qui l'ont toujours préoccupé. Bien qu'il n'y fasse que des allusions un peu vagues dans le corps de l'*Optique*, il était naturel que l'étude de la lumière le conduisit à l'étude des sensations lumineuses et que de celles-ci il s'élevât aux sensations en général¹. C'est ce qu'il a fait dans les *Quæstiones Opticæ* dont plusieurs sont spécialement consacrées à l'optique physiologique².

Le fait que les rayons lumineux, arrivant au fond de l'œil, excitent en nous la sensation de lumière, vient de ce qu'ils produisent certaines vibrations sur la tunique de la rétine. Ces vibrations, se propageant jusqu'au cerveau par l'intermédiaire des fibres nerveuses, y font naître la sensation lumineuse. Car de même que les corps denses conservent leur chaleur très longtemps³, de même les vibrations lumineuses peuvent se conserver longtemps intactes en traversant les fibres nerveuses, qui sont solides et composées d'une matière uniforme. Si les fibres n'étaient pas homogènes, le mouvement qui les traverse pourrait se réfléchir, se réfracter, s'arrêter ou se troubler. L'audition s'opère par les vibrations du même milieu ou d'un milieu différent⁴, vibrations excitées dans les nerfs auditifs par les tremblements de l'air et qui se propagent ensuite par les filaments solides, transparents et homogènes de ces nerfs jusqu'au lieu de la sensation. Il en est de même pour tous les autres sens. Les fibrilles qui constituent les nerfs sont toutes solides et homogènes⁵. De cette façon le mouvement vibratoire du milieu éthéré peut se propager uniformément d'un bout à l'autre des nerfs. Lorsque les nerfs sont obstrués de parties hétérogènes, la propagation n'a plus lieu et l'on se trouve en présence de la paralysie. De l'homogénéité des nerfs résulte qu'ils sont transparents. Bien qu'ils semblent opaques lorsqu'on les regarde par réflexion, les nerfs se composent de

1. C'est l'évolution qu'a suivie un autre grand physicien, comparable à Newton, sous bien des rapports, Helmholtz.

2. V. *Quæst.* XII et *Quæst.* XIII.

3. Newton ne connaît pas la distinction du poids spécifique et de la capacité calorifique.

4. V. *Quæst.* XXIII. « *Auditusannon efficitur vel liquore vel alius cujusdam medii vibrationibus ?* »

5. V. *Quæst.* XXIV.

fibres parfaitement diaphanes, et la couleur blanche prend naissance dans les réflexions que la lumière subit dans le faisceau de ces fibres.

La contractilité des muscles, comme la sensibilité des nerfs, vient d'un éther qui pénètre les humeurs animales de la même façon que l'éther magnétique pénètre le verre¹. Pour expliquer les changements de tension des muscles, il suffit de faire appel à une variation de consistance de l'éther inclus. Quant à cette variation, elle peut avoir sa source dans l'action directe et immédiate que l'âme exerce sur l'éther à l'intérieur de tout le corps, mais alors on ne comprend pas la dépendance où les muscles sont du système nerveux ; on peut admettre aussi qu'un éther se trouve enfermé dans la dure-mère, et que l'âme, en comprimant et dilatant cette dernière, mette l'éther en mouvement, mais alors il est surprenant que l'éther ne diffuse pas au travers de la dure-mère ; on peut supposer enfin que l'âme a son siège dans le cerveau et que de là, par l'intermédiaire des nerfs, elle puisse fournir d'éther les différents muscles, mais c'est attribuer au cerveau une force difficilement compréhensible. Newton préfère admettre que le fluide éthéré qui met les muscles en mouvement ne peut pénétrer que la substance nerveuse et non la substance musculaire, comme il arrive souvent en hydrodynamique, où l'on voit que certains fluides traversent et d'autres ne traversent pas une paroi déterminée. Quoiqu'il soit de ces différentes hypothèses, et du degré de vraisemblance que Newton leur attribue, une chose ressort clairement des allusions physiologiques de Newton : c'est que l'éther n'était pas pour lui une conception spéciale, créée uniquement pour répondre aux besoins de l'optique. La physiologie elle aussi a besoin d'éther, et il n'est pas certain qu'elle puisse se contenter de ceux qu'on utilise en physique.

Malgré quel que soit l'intérêt des phénomènes électriques, magnétiques, physiologiques, en ce qui concerne l'origine de la notion d'éther, il est un ordre de phénomènes beaucoup plus simple, puisqu'il rentre dans la mécanique rationnelle, et qui pourtant a contribué davantage à la formation de cette notion.

1. Cf. Birch, *History of the Royal Society*, T. III, p. 253.

Nous voulons parler des phénomènes astronomiques et de la loi de la gravitation universelle.

Nous avons fait voir plus haut que l'optique d'une part, l'astronomie de l'autre, étaient la double source où les précurseurs de Newton ont puisé leur conception de l'éther. Newton a suivi sur ce point l'exemple de la tradition. Il a éprouvé lui aussi le besoin de chercher un point de contact entre l'optique et l'astronomie. Ce point de contact, c'est l'hypothèse de l'éther. Disons tout de suite que sans l'intérêt puissant attaché à cette hypothèse par l'astronomie newtonienne, il est probable que Newton n'eût pas orienté son optique dans le sens que nous avons indiqué. Les théories de l'émission, les théories corpusculaires, seraient sans doute demeurées prépondérantes chez lui, comme elles l'avaient été d'abord, s'il n'avait pas pressenti dans les théories de l'éther un moyen de passer des problèmes mécaniques aux problèmes optiques. Newton, qui avait commencé ses recherches optiques bien avant que le système de la gravitation ne fût mûr dans son esprit, ne pouvait se douter à l'avance qu'entre ces disciplines apparemment distinctes il dût exister des points communs. C'est peu à peu, par le développement mathématique de l'astronomie et le développement expérimental de l'optique, qu'il fut amené à admettre un milieu hypothétique, siège à la fois des forces cosmiques et des ondes lumineuses. Une fois ce rapprochement fait, il devait réagir sur les conceptions optiques de Newton. Du moment que l'éther joue en mécanique céleste un rôle indispensable, c'est une indication qu'il doit avoir sa place dans l'optique.

Ce sont des raisons de polémique qui ont poussé Newton à approfondir en optique la théorie de l'éther. Des raisons du même genre l'amèneront peu à peu à faire de cette théorie une partie intégrante de la mécanique céleste.

La loi de la gravitation universelle avait été assez mal accueillie dès l'origine, à la fois par ceux qui rejetaient les principes de la philosophie newtonienne et par ceux qui les admettaient. Les disciples de Descartes reprochaient à Newton de ne rien expliquer par sa loi de la gravitation. En quoi sommes-nous renseignés sur le mécanisme du monde lorsque nous savons que tous les corps matériels s'attirent en raison directe

des masses et en raison inverse du carré de la distance ! Cette loi, en admettant qu'elle soit vraie, traduit les faits d'une façon terre à terre, mais ne permet nullement de s'élever à leur cause. Combien Descartes avait mieux compris l'essence de la philosophie naturelle, lorsque dans ses *Principes* et ses *Météores* il donne la théorie des mouvements planétaires. C'est en parlant des tourbillons et des pressions que ces tourbillons suscitent, que Descartes s'élève à l'explication de la pesanteur, du mouvement des astres, de l'aplatissement de la terre, de la révolution des satellites, etc. Partout il fait appel à la pénétration de la matière subtile, qui en s'insinuant d'une force plus ou moins grande dans les pores des corps matériels y détermine une tendance à tel mouvement où à tel autre. Il est possible qu'il ait négligé la recherche mathématique des lois. Mais au moins ses explications font connaître la cause efficace des phénomènes. Il permet de suivre, à travers le milieu matériel, le transport des actions et des mouvements. Il ramène tous les effets physiques à des effets de pression ou de contact, c'est-à-dire aux effets mécaniques les plus simples et les plus aisés à connaître.

Même si l'on reste placé au point de vue strict de Newton, il semblait difficile à beaucoup de ses contemporains de mettre d'accord sa théorie de la gravitation avec la négation des actions à distance. Dire que les planètes s'attirent mutuellement en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances, n'est-ce pas affirmer que l'état d'une planète peut immédiatement être affecté par l'état d'une autre planète, malgré l'intervalle immense qui les sépare ? Or c'est là une chose impossible, aussi bien lorsqu'il s'agit de corps énormes comme sont les masses planétaires que lorsqu'il s'agit des corps terrestres, pour lesquels tout le monde est d'accord. C'est justement une des originalités de l'astronomie newtonienne d'avoir montré qu'on peut assimiler les forces cosmiques aux forces terrestres, et Newton va contre ses propres principes lorsqu'il admet ensuite une attraction universelle s'exerçant directement d'un astre à l'autre.

C'est sur cette objection que se fonde l'hostilité de savants comme *Leibniz* et *Huyghens* à la mécanique céleste de Newton. *Leibniz* publia ses idées sur la gravitation peu de temps

après l'apparition des *Principes*, sous le titre : *Tentamen de Motuum Cœlestium Causis*¹. Bien qu'il ne fasse aucune allusion à Newton, il est certain que *Leibniz* connaissait dès ce moment les travaux faits en Angleterre sur la question de la gravitation, et l'on peut remarquer que six ans plus tard, dans un mémoire inséré au *Journal des Savants*, *Leibniz* conserve le même silence à l'égard des découvertes newtoniennes².

Ce qui empêche *Leibniz* d'adhérer aux théories de Newton, c'est qu'elles ne pénètrent pas au fond de la question. Newton s'est contenté d'une physique descriptive, où les lois jouent le rôle d'explications. *Leibniz*, plus métaphysicien et plus dogmatique, prétend donner des mouvements planétaires une explication fondée sur la Monadologie. La matière céleste est le siège d'une « circulation harmonique ». Cette circulation ressemble aux tourbillonnements de Descartes, avec cette différence que *Leibniz* en déduit, par l'application des théorèmes sur la force centrifuge, la deuxième et la troisième lois de Kepler, comme aussi la loi de la gravitation newtonienne. Si les planètes s'attirent en raison inverse du carré des distances, cela ne tient pas à une qualité innée appartenant à la matière comme telle et pouvant s'exercer à distance, c'est le résultat du jeu naturel des forces centrifuges.

Huyghens oppose aux découvertes de Newton des arguments du même ordre. Dans son *Discours sur la cause de la Pesanteur*, lu en 1689 devant la Société de Londres³, tout en reconnaissant que la loi de Newton avait permis à ce dernier des développements mathématiques de haute valeur, il craint qu'elle n'avance en rien la question de savoir en quoi consiste la cause de la gravité. Cette cause ne peut se tirer d'une règle de mouvement ou d'un principe mécanique. Il faut la chercher dans la constitution physique de la matière qui remplit l'univers. Il faut tenter de corriger la doctrine de Descartes de façon à rendre à la matière subtile le véritable rôle d'agent de la pesanteur. *Huyghens* pense qu'il est possible d'aller plus loin

1. V. *Journal des Savants*, Fév. 1689, p. 82.

2. V. *Journal des Savants*, avril 1693, p. 145-157 : *Specimen Dynamicum pro admirandis Naturæ Legibus circa Corporum vires et mutuas actiones detegendis et ad suas causas revocandis, Auctore G. G. L.*

3. Écrit en partie depuis 1669 et lu à cette époque devant l'Ac. des Sciences de Paris.

que n'allait Newton dans la déduction des lois astronomiques. Au lieu de supposer des actions à distance, il doit être possible, en combinant la théorie des tourbillons avec celle de la force centrifuge, d'arriver à faire voir que la gravitation se propage de proche en proche et n'échappe pas aux lois de la mécanique générale. Ainsi *Leibniz* et *Huyghens* sont d'accord pour reprocher à la doctrine de Newton une faute de méthode : Newton a commenté avec succès les conséquences mathématiques de l'hypothèse de la gravitation, mais il a négligé de faire voir comment cette gravitation agit réellement.

Aux critiques de *Leibniz* et de *Huyghens* vinrent s'ajouter bientôt celles de *Flamsteed*, qui portaient sur des questions de priorité, les plus pénibles de toutes pour Newton. Parmi ses propres élèves, Newton rencontra des astronomes et des physiciens hostiles à sa conception de la gravitation, parce qu'ils la trouvaient superficielle et prétendaient y substituer une théorie moléculaire. Déjà aigri par les luttes qu'il avait menées pour la défense de son optique, Newton se décida à adopter une attitude qui coupât court à toute polémique et lui permit de développer les conséquences de la gravitation sans rechercher les causes intimes de cette dernière. Deux voies s'offraient ici à Newton. Il pouvait d'abord, restant fidèle à l'esprit positif de sa doctrine, se contenter d'affirmer la gravitation comme un fait, au delà duquel il est inutile de remonter, et exclure toute recherche des causes de l'investigation scientifique. Il pouvait aussi, faisant une concession au goût des explications mécaniques, rechercher la cause de la gravitation dans l'existence hypothétique d'un éther, véhicule de toutes les attractions, et montrer que cet éther est du même genre que l'éther optique. La faute de Newton est d'avoir adopté successivement les deux attitudes. De là la confusion qui n'a pas cessé d'être faite entre la partie positive et la partie hypothétique de son œuvre. De là aussi le retour qu'on trouve sans cesse dans ses derniers ouvrages de l'optique à l'astronomie et de l'éther lumineux à l'éther cosmique.

Dans le Scholie Général qui termine le second livre des *Principes*¹, Newton semble indiquer que l'essence de la gravitation

1. Ed. Castillon, T. II, p. 179.

est une question dont on peut se désintéresser¹. Que doivent rechercher les sciences physiques en général et l'astronomie en particulier ? Elles doivent nous fournir des formules précises, aisées à manier par le calcul, permettant de condenser et de prévoir des séries d'observations. Avec la loi de l'attraction newtonienne, nous possédons une formule de ce genre. Cette loi sert de lien entre les trois lois de Kepler, et chaque confirmation expérimentale du mouvement elliptique est une confirmation indirecte de l'attraction. Mais alors, si la loi de Newton est vérifiée expérimentalement chaque jour, ne peut-on dire qu'elle exprime une propriété de la matière ? En disant que toute matière possède naturellement la faculté d'attirer les autres matières, nous énonçons sous forme abstraite et d'une manière qui n'engage à rien, un fait d'expérience. L'étendue, la mobilité, l'inertie, n'ont pas plus de titres à être regardés comme des propriétés irréductibles de la matière que la faculté d'agir par attraction². Nous pouvons donc dire que la qualité attractive est innée et inhérente à toute matière, en exprimant par là simplement l'ensemble des constatations journalières. Lorsque nous attribuons aux rayons lumineux des qualités « innées » comme la réfrangibilité, la réflexibilité, etc., ces mots abstraits cachent des faits positifs et ont seulement pour but de faciliter le langage. Il en est de même dans l'astronomie. La gravité est une qualité innée à tous les corps que nous connaissons. Cela ne signifie rien de plus que tout à l'heure. Il faut comprendre qu'il est inutile de rechercher à tout prix des explications métaphysiques en physique. Tout

1. Il semble probable que cette manière d'éviter en physique les objections métaphysiques a été suggérée à Newton par l'ouvrage de Wallis : *Mechanica sive de Motu tractatus mechanicus* (Londres 1669). Dès cette époque Wallis écrivait que la cause de la gravité est indifférente au savant : « Gravitas est vis motrix, deorsum, sive ad centrum terræ. Quodnam sit, in consideratione physica, gravitatis principium, non hic inquirimus. Neque etiam an qualitas dici debeat, aut corporis affectio, aut quo alio nomine censeretur par sit. Sufficit ut gravitatis nomine illam intellegamus quam sensu deprehendimus. »

2. V. *Principes*, T. II, p. 179. « Dans cette philosophie (expérimentale) on tire les propositions des phénomènes, et on les rend ensuite générales par induction. C'est ainsi que l'impénétrabilité, la mobilité, la force des corps, les lois du mouvement et celles de la gravité ont été connues. Et il suffit que la gravité existe, qu'elle agisse selon les lois que nous avons exposées, et qu'elle puisse expliquer tous les mouvements des corps célestes et ceux de la terre. »

l'effort doit porter sur un choix de définitions positives. En définissant la gravité une « propriété universelle », nous résu-mons aussi brièvement que possible l'ensemble des faits connus, nous écartons toute hypothèse, et nous nous mettons à l'abri des objections fondées sur la recherche des causes.

Newton aurait pu s'en tenir à cette fin de non-recevoir opposée à toute question sur l'essence de la gravité. C'était là une position inattaquable et parfaitement consolidée par l'ensemble de sa méthode. Parmi les interprètes les plus fidèles du newtonisme, il en est qui se rallièrent toujours à cette manière de voir, et se refusèrent à chercher dans des hypothèses le supplément d'information que sollicitaient leurs adversaires. C'est ainsi que *Cotes* considérait les attractions (et celles-ci sont des forces fonction de la distance mais non nécessairement en raison sous-doublée de cette distance) comme des *facultés d'actions* qui appartiennent par nature à toute matière. Les forces attractives s'exercent à toute distance, immédiatement d'une matière sur l'autre. Elles n'ont point de substance physique ou mécanique qu'on puisse se proposer de découvrir. Elles proviennent directement de la volonté de Dieu, qui les a créées et qui les conserve.

Peut-être Newton lui-même fût-il demeuré sur ce terrain étroit, mais solide, sans les accusations passionnées qui furent portées contre les *Principes*. On lui fit grief de faire revivre, avec ses attractions et ses répulsions, les entités du moyen âge. Désigner la gravité, la dureté, la réfrangibilité, etc. comme des propriétés primitives de la matière, c'était, disait-on, revenir à la physique des qualités occultes. Ces objections injustifiées firent malgré tout grande impression sur l'esprit de Newton. Il s'efforce de s'en dégager aussi bien dans l'*Optique* que dans la seconde édition des *Principes*. Au cours d'une lettre à *Bentley*, Newton s'exprime ainsi : « Que la gravitation puisse être essentielle, innée et inhérente à la matière, qu'un corps puisse agir sur l'autre à toute distance à travers l'espace vide sans nul intermédiaire, de sorte que l'attraction ne soit pas conduite de proche en proche d'un corps à l'autre, c'est, à mon sens, une telle absurdité qu'elle n'a pu venir à l'esprit d'aucun homme, tant soit peu versé dans les choses philosophiques ». Et dans sa préface de l'*Optique* on retrouve la même idée :

« Afin qu'il ne vienne à l'esprit de personne de croire que je range la gravité parmi les propriétés essentielles des corps, j'ai posé une question touchant l'essence de sa cause véritable ». Ainsi Newton a cessé de croire qu'on puisse se contenter d'éluder, par un stratagème de méthode, la difficulté que soulève l'essence de la force attractive. Il accorde qu'il faut se demander comment la gravitation peut se transmettre, et pour rendre compte de cette transmission il va faire appel à l'hypothèse de l'éther.

Déjà dans son mémoire de 1675, Newton donnait l'esquisse d'une théorie de l'éther, telle qu'on peut la concevoir pour expliquer la gravité. Comme la lumière, comme l'électricité, comme les forces vitales elles-mêmes, la force d'attraction de la terre, que nous nommons gravité, est causée par la condensation continuelle d'un fluide éthéré. Si les corps combustibles ou fermentescibles ont la puissance de garder en eux une grande masse de fluide éthéré, on peut admettre aussi que le corps très considérable qui constitue la terre peut condenser sans cesse des masses d'éther considérables. Mais alors il faut qu'à chaque instant et de tous côtés le fluide éthéré afflue avec une grande vitesse pour remplacer celui qui disparaît, et les courants d'éther entraînent avec eux les corps matériels vers le centre de la terre. Leur force sera inversement proportionnelle à la surface totale sur lesquels agissent les courants¹. De même que la terre, le soleil peut aussi absorber de cette matière éthérée, et conserver de la sorte non seulement sa lumière, mais son action sur les planètes.

Dans les *Quæstiones Opticæ*, Newton revient sur l'idée d'un éther servant de véhicule aux attractions astronomiques². Le milieu éthéré est représenté comme moins dense à l'intérieur du soleil, des étoiles, des planètes et des comètes que dans les espaces libres qui les séparent. En partant du centre des masses planétaires, on voit l'éther devenir continuellement plus solide et plus dense. C'est grâce à lui que ces grands corps pèsent mutuellement les uns sur les autres, et que les parties

1. C'est-à-dire inversement proportionnelle au carré de la distance, en vertu de la formule $S = 4\pi R^2$.

2. V. *Quæst. Opt.* XXI, p. 284.

de chacun d'eux pèsent sur le tout¹. N'est-ce pas en effet une règle générale, vérifiée dans toutes les observations hydrodynamiques, que les corps font effort pour se retirer des endroits où le milieu est plus dense pour se diriger vers ceux où il est plus rare ? Admettons alors que l'éther soit plus rare à l'intérieur du soleil qu'à sa superficie, plus rare à sa superficie qu'à une distance d'un centième de pouce, plus rare ici encore qu'à la distance d'un cinquantième de pouce, où il est plus rare que dans l'orbe de Saturne. Il n'y aura pas de raison pour que cet accroissement de densité ait une limite, lorsqu'on s'éloigne indéfiniment du soleil. La densité de l'éther, quand même elle n'augmenterait à de très grandes distances qu'avec une extrême lenteur, pourra néanmoins, si l'élasticité du milieu est assez grande, pousser tous les corps, avec la force que nous appelons *gravité*, des parties où le milieu est le plus compact vers celles où il est le plus rare.

Or la force élastique de l'éther est très grande, nous le savons par la vitesse des vibrations qu'il propage. Le son se transporte d'environ 1140 pieds anglais à la seconde, ce qui fait cent milles en sept à huit minutes. La lumière qui nous vient du soleil emploie à peu près le même temps pour franchir un espace 700 000 fois plus grand. Il faut donc que la force élastique de l'éther soit à celle de l'air comme le carré de 700 000 est à l'unité². On peut alors admettre que l'éther se compose (comme l'air atmosphérique) de particules se repoussant mutuellement, car, dit Newton, « nous ne sommes liés par aucune définition de l'éther³ ». Ces particules sont plus ténues que celles de l'air et même que celles de la lumière. Avec une pareille finesse de constitution, l'éther pourra posséder à la fois une force élastique très grande et une viscosité très petite. Les planètes, les comètes, les corps grossiers de toute nature pourront se mouvoir beaucoup plus librement et en rencontrant beaucoup moins de résistance dans ce milieu éthéré que dans n'importe quel fluide remplissant totalement

1. *Ibid.* « Eo pacto efficit (hoc medium) ut et magna ista corpora erga se invicem gravia sint, et ipsorum partes singulæ erga ipsa corpora. »

2. En vertu de la formule de Newton $V = \sqrt{\frac{E}{D}}$.

3. V. *Quæst. Opt.* XXI, p. 283, « Iste enim Æther quid sit non definio ».

et sans lacune l'espace tout entier. La résistance d'un pareil milieu sera si petite qu'on pourra la réputer pour rien. Si par exemple l'éther est 700 000 fois plus élastique que notre air et 700 000 fois moins dense, sa résistance sera plus de 600 000 000 fois moindre que celle de l'eau. Une pareille résistance n'entraînerait en 10 000 ans qu'une variation imperceptible dans le cours des planètes. Et il n'y a rien d'étrange à admettre un milieu dont la densité soit si petite, puisqu'on accorde que l'air, à la partie supérieure de l'atmosphère, est certainement plusieurs centaines de millions de fois plus léger que l'eau. De tout ceci il résulte, pour Newton, que l'hypothèse d'un fluide universellement répandu permet de résoudre le problème de l'essence de la gravitation. Un mécanisme de pressions et de condensations, s'opérant au sein de l'éther, est la cause vérifiable des forces astronomiques, et rien n'empêche de combiner cette hypothèse avec celle d'un éther lumineux.

Est-il possible d'admettre un éther unique, ou faut-il se résoudre à reconnaître une multitude d'éthers ? C'est une question que Newton ne pouvait pas éluder dans les parties de son *Optique* où il se montre favorable à la recherche des causes de la gravitation. Admettons en effet, comme Newton le suppose, que la cause de la pesanteur des corps réside dans une atmosphère éthérée qui entoure chacun de ces corps et se répand en augmentant de densité jusqu'aux corps avoisinants. Il y a lieu de se demander si l'éther qui a son centre au soleil est le même que celui qui a son centre dans la terre, et s'ils coïncident l'un et l'autre avec les différents éthers situés dans la sphère d'attraction de chaque planète.

Il est d'abord certain, d'après Newton, que « la gravité entre la terre et ses parties étant mutuelle » de même que la gravité entre la terre et le soleil, si l'on admet un éther « attirant » autour de l'une ou l'autre des masses en présence, il faudra admettre un éther « attiré » autour des autres masses. Il n'y a en effet entre les corps pesants et le centre vers lequel ils pèsent qu'une différence de point de vue. La terre tombe aussi bien vers la pierre que la pierre tombe vers la terre. Il semblerait donc qu'il faille multiplier les éthers à l'infini, puisque tout corps pesant transporte autour de lui une atmosphère de fluide éthéré. Mais il est inconcevable, dit Newton, que diffé-

rents fluides élastiques puissent se diffuser par tout l'univers sans que les actions dont ils sont le siège subissent de retard, de diffraction ou de dispersion¹. L'exemple de l'optique en fournit la preuve, puisque la réfraction se produit justement à la surface de séparation de deux parties de l'éther affectant des structures différentes. Donc il faut convenir, si l'on veut rester d'accord avec les faits, que l'éther cosmique est unique et que c'est le même fluide qui, par des condensations et des dilata-tions successives, crée les champs de forces du soleil, de la terre, de toutes les planètes.

Mais l'éther « gravifique » est-il le même que l'éther « lumi-nifère », l'éther « électrique », l'éther « magnétique » l'éther « calorifique »²? C'est ce que Newton semble admettre en vertu du principe d'économie. Du moment qu'un fluide unique, répandu partout, peut grâce à des propriétés uniformes, élas-ticité, densité, perméabilité, etc., servir de véhicule à des actions différentes, il y a intérêt, puisqu'on s'est engagé dans la voie des hypothèses, à ne pas multiplier ces hypothèses en vain et à réduire au minimum le nombre des *causes* reçues en physique.

On voit que Newton, après s'être refusé, au nom des prin-cipes de sa méthode, à chercher la cause de la gravitation, est allé assez loin dans la voie des hypothèses capables de nous fournir une représentation de cette cause. L'éther, malgré la forme dubitative sous laquelle il est présenté dans l'*Optique* semble être l'hypothèse naturelle que Newton admet de préfé-rence. Faut-il donc croire que sur ce point Newton ait délibé-rément démenti ses principes, qu'il se soit hasardé à mélanger l'incertain au certain, qu'il ait cru vraie une *hypothèse*? Faut-il au contraire rejeter l'hypothèse de l'astronomie newtonienne, croire que Newton n'a adopté la théorie de l'éther que comme

1. V. *Opt. Quæst.* XXVIII. « Verum qui fieri queat ut per spatium uni-versum diffusa sint duo Ætherum genera, quorum hoc in illud et illud con-sequenter in hoc vicissim agat, nec tamen suos mutuos motus retar-dent, diffringant, dispergant et perturbent, concipi utique non potest. »

2. V. *Opt. Quæst.* XVIII. « Annon jam calor ille exterior per vacuum defertur, vibrationibus medii cujusdam, longe, quam est aër, subtilioris, quod quidem medium, exhausto aëre, tamen adhuc in vacuo supersit? Mediumque hoc annon id ipsum est quo lumen reflectitur et refringitur? Et annon corpora omnia facillime permeat, perque cœlos universos vi-sua elastica est diffusum? »

une image provisoire, affirmer qu'il est resté toujours et partout strictement positif? C'est cette dernière thèse qui nous semble la plus conforme à la vérité historique; c'est elle qui s'accorde le mieux avec la tournure d'esprit de Newton, c'est elle aussi qu'il est le plus facile de concilier avec les textes.

Si l'on veut comprendre le rôle exact que l'hypothèse de l'éther joue dans l'astronomie newtonienne, il faut nous référer à ce que nous savons de la signification physique de l'hypothèse. Newton n'est pas systématiquement hostile à toute hypothèse, mais il importe, pour qu'une hypothèse soit admissible, qu'elle soit en rapport avec l'état actuel de la science. Le but de la science est assurément de supprimer les hypothèses, si l'on entend par là qu'elle doit substituer le certain au douteux. Une science positivement constituée ne comporterait plus qu'un groupement de lois, s'éclairant et se complétant les unes les autres. Mais avant d'arriver à cet état idéal, c'est-à-dire à tout moment de son évolution, la science est obligée de se scinder en deux parts : l'une où les connaissances précises sont assez nombreuses, les lois assez simples et assez systématiques, pour que l'enchaînement des faits puisse avoir lieu sans le secours d'une hypothèse, l'autre qui est la partie vraiment vivante, précisément parce qu'elle est imparfaite, où les expériences sont mal débrouillées, les mesures incohérentes et grossières. Dans cette dernière partie de la science, l'hypothèse est nécessaire comme guide et comme soutien. Il suffit, pour qu'on puisse l'employer sans danger, qu'on ait conscience de sa « relativité ».

En appliquant ces considérations à l'astronomie, telle qu'elle est constituée par les travaux de Newton, on arrive facilement à la conclusion suivante. La loi de la gravitation, comme les lois de la mécanique, est une première approximation du réel. Dans un domaine auparavant presque inexploré, Newton a découvert une loi qui permet de coordonner tous les phénomènes connus. Cette loi a la même importance et la même portée que le principe d'Archimède en hydrostatique, le principe de Galilée en dynamique, le principe d'Huyghens en optique physique. Ceci veut dire qu'elle est une formule mathématique donnant à la fois une mesure exacte et une prévision possible des phénomènes. Mais il est de la nature des formules

mathématiques d'être toujours perfectibles. Leur vérité, leur utilité, résident dans l'ordre d'approximation qu'elles fournissent, et, quel que soit cet ordre, il peut être dépassé.

La loi de la gravitation n'échappe pas à la règle commune. Du fait qu'elle fournit un premier aperçu de la dynamique cosmique, il ne s'ensuit pas qu'elle soit une théorie absolue, une explication définitive. Dans la mesure où elle est certaine, elle rentre dans cette partie de la science qui se compose des lois et des faits acquis. Mais au-delà de ce qu'elle nous fait connaître, il reste des questions ouvertes, des problèmes secondaires. Ces problèmes rentrent dans la seconde partie de la science, celle qui n'est pas faite mais qui se fait, et se fait toujours au moyen d'hypothèses.

Ainsi « la gravitation » conçue comme qualité de la matière, de même que l'inertie, la dureté, l'impénétrabilité, peut être envisagée en première approximation comme se suffisant à elle-même. On ne peut rien demander de plus précis comme schéma du mécanisme universel. Mais sous ce mécanisme d'actions à distance, d'attractions idéales, le bon sens pressent un mécanisme plus intime, dont les rouages lui échappent encore. Ce mécanisme doit pouvoir lui aussi se formuler à l'aide de lois, et un temps viendra où il fera à son tour partie de la physique positive. Pour le moment nous en sommes réduits à le supposer sans le connaître. Les idées d'éther, de fluide attirant, de matière subtile, sont des images qu'il nous est commode d'employer à la place des lois certaines qui nous manquent. Ces images sont grossières et forcément inexactes, mais peu importe, puisqu'elles sont provisoires. Lorsqu'on a des lois solides derrière soi, il n'y a nul inconvénient à se servir d'hypothèses, pourvu qu'on se rappelle que ces hypothèses n'ont pas leur fin en elles-mêmes, mais sont des instruments de recherche destinés à nous faire retrouver des lois.

On comprend alors ce que Newton veut dire à la fin de son *Optique*¹, lorsque, revenant sur la question de la gravitation, il se demande si les mouvements de l'éther astronomique, identique à l'éther lumineux, sont la cause dernière de la gravité. Ce que j'appelle attraction, dit-il, peut assurément être

l'effet d'un mécanisme caché. On peut supposer que l'attraction provienne d'un choc de particules, d'impulsions éthérées ou matérielles. Mais j'entends ici qu'on prenne le mot d'attraction dans un sens absolument indéterminé. « Attraction » signifie simplement la force, quelle qu'elle soit, par laquelle les corps tendent les uns vers les autres. Il est certain que cette force doit avoir une cause, si l'on entend par là que les lois de l'attraction se résoudront un jour en lois plus simples et plus générales. Mais cette cause nous est actuellement tout à fait inconnue. Nous n'avons que deux voies pour nous élever jusqu'à elle, la voie des hypothèses et celle des expériences. La première semble d'abord la plus indiquée. Elle permet de trouver des analogies et de pressentir des faits nouveaux. Mais elle est, dans l'état actuel de la science, beaucoup plus dangereuse que l'autre. Soit qu'on mette à la base de l'astronomie une hypothèse moléculaire, soit qu'on fonde la gravitation universelle sur l'hypothèse de l'éther, on risque de fausser les faits par esprit de système. Cela tient à ce qu'une hypothèse, pour être féconde, doit venir à son heure. Il faut qu'elle s'harmonise avec le progrès des recherches expérimentales et ne cherche pas à les devancer.

Voilà pourquoi nous devons pour le moment nous en tenir à la formule modeste que Newton donne de sa propre loi : les corps célestes se comportent comme s'ils gravitaient. Derrière cette gravitation existent certainement des causes plus profondes, mais ni les observations, ni le calcul ne sont assez avancés pour nous les faire connaître. « J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes et ceux de la mer par la force de la gravitation, mais je n'ai assigné nulle part la cause de cette gravitation. Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité, et je n'imagina point d'hypothèses¹. » Il faut d'abord « que nous prenions connaissance par les phénomènes de la nature des attractions comme telles, que nous en recherchions les lois et les propriétés, avant qu'il y ait lieu de nous demander par quelle cause s'effectuent ces attractions² ».

1. V. *Principes*, L. III, Scholie général.

2. Cf. *Opt. Quæst.* XXXI. « Nam ex phænomenis naturæ illud nos prius

On le voit, l'idée profonde de Newton n'est pas que la théorie de l'éther doive être admise dès à présent dans la science, elle n'est pas non plus qu'il faille rejeter de parti pris toute recherche des causes intimes. Tout se ramène à une question d'opportunité. « Ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse, et les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale³. » Mais les lois que la philosophie expérimentale admet ont toutes commencé par être des hypothèses. Elles n'ont perdu ce caractère qu'en prenant la précision mathématique et en se vérifiant par l'expérience. L'hypothèse de l'éther, à l'époque où écrit Newton, est dans l'état où se trouvait l'hypothèse de la gravitation chez les prédécesseurs de Newton. Il lui manque l'appui du calcul et la confirmation des faits. Rien ne prouve qu'à un autre moment de l'évolution scientifique cette hypothèse ne puisse devenir positive. Elle prendra alors le nom de loi, et nous pourrons dire qu'elle nous fait connaître la cause de la gravitation.

IX

Parmi les physiciens successeurs de Newton, il en est qui ont cru pouvoir franchir le pas où Newton s'était arrêté. D'une manière conforme à l'esprit de la physique newtonienne, ils ont tâché d'aller dans la voie expérimentale plus loin que n'avait fait Newton et d'appliquer aux données nouvelles de l'observation les modes de calcul inaugurés par les *Principes*.

Déjà *Hawksbee*, du vivant de Newton, avait cherché à vérifier par l'expérience l'idée que la capillarité, comme l'électricité, a sa cause dans des attractions atomiques. *Jurin* montra que ces forces étaient nécessaires pour rendre compte de l'ascension des liquides dans les tubes très étroits; et *Clairaut*,

esse doctos oportet, quænam corpora se invicem attrahant, et quænam sint leges et proprietates istius attractionis, quam in id inquirere par sit, quam efficiente causa peragatur attractio. »

3. V. *Principes*, L. III, Scholie général, sub. fin.

mettant le problème en équations, fit voir que les phénomènes trouvés par *Jurin* rentraient comme cas particuliers dans l'hydrostatique newtonienne. *Keill* et *Freind*, reprenant d'une manière précise l'idée que les transformations physico-chimiques sont dues à des attractions mutuelles, montrèrent que l'éther newtonien pouvait se remplacer par des forces moléculaires. D'une manière générale, l'effort du XVIII^e siècle, celui au moins des représentants de la physique mathématique, fut d'achever l'œuvre commencée par Newton en découvrant sous l'hypothèse de l'éther des hypothèses plus simples, capables de fournir des explications plus complètes.

Le représentant le plus typique de cette tendance, celui qui a cru pouvoir sortir le plus nettement de la réserve où s'était tenu Newton, est le jésuite *Boscovich*¹. *Boscovich* admet intégralement la physique newtonienne, mais il croit pouvoir, par cette physique même, démontrer la matérialité de l'éther. Il lui semble possible d'envisager la matière comme soumise à des forces d'attraction qui s'exercent depuis les plus grandes distances jusqu'aux plus petites. Dans l'espace vide se trouvent, d'après *Boscovich*, des êtres réduits à des points, mais affectés d'une masse invariable². Chacun de ces points, dépourvu d'étendue, n'en est pas moins le sujet de forces, et ces forces, conformément à la mécanique newtonienne, peuvent se composer et se décomposer suivant la règle du parallélogramme. Chacune des forces qui sont appliquées à un « point mathématique » a son origine dans un autre « point mathématique », et, conformément au principe de l'égalité de l'action et de la réaction, les forces mutuelles qui émanent de ces points sont rigoureusement égales. Leur grandeur dépend de la distance qui sépare les deux points et de cette distance seulement. Lorsque les points sont extrêmement voisins, la loi de leur action mutuelle peut prendre une forme compliquée, que l'expérience seule fera connaître. Mais sitôt que les distances deviennent notables par rapport au rayon des « sphères

1. Né à Raguse en 1711, mort à Milan en 1787. Auteur de plus de 70 ouvrages, dont le plus connu porte pour titre : *Theoria Philosophiæ Naturalis reductæ ad unam legem virium in natura existentium*. Vienne 1758, Paris 1763.

2. V. P. Duhem, *l'Évolution de la Mécanique*, Rev. Gén. des Sciences, 30 janvier 1903.

d'activité », toute matière, quelles que soient ses propriétés chimiques spécifiques, n'agit plus qu'en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances. L'ensemble des points mathématiques agissant suivant ces lois n'est autre chose que ce que Newton appelait *matière*. On voit en même temps qu'il devient inutile de faire appel à un *éther* spécial, servant d'intermédiaire entre les corps matériels, puisque la matière n'est définie que par ses propriétés géométriques et ne peut se distinguer de l'éther. La gravité astronomique, la cohésion physique, l'affinité chimique ne sont que des expressions différentes d'un seul et même fait, l'action mécanique de points matériels les uns sur les autres.

Tels sont les gros traits de cette théorie des « centres de forces » qui a joué un rôle considérable jusqu'au début du xix^e siècle. Elle fournit l'exemple d'une physique prétendue newtonienne, parce qu'elle étend les théorèmes de Newton à la totalité des phénomènes naturels. En réalité la physique de *Boscovich* était aussi contraire que possible à l'esprit du newtonisme. En prétendant faire d'une manière prématurée la synthèse complète de l'univers, *Boscovich* est arrivé à admettre dans la philosophie naturelle une part d'hypothèse beaucoup plus grande que n'avait fait l'auteur des *Principes*. Sa physique prend une allure métaphysique qui rappelle plus *Wolff* que Newton.

Partisans ou adversaires de *Boscovich*, tous les savants du commencement du xix^e siècle se réclament des principes de la philosophie newtonienne. *Lagrange*, *Laplace*, *Young*, *Fresnel*, *Poisson*, sont tous, même lorsqu'ils critiquent Newton, sous l'influence de sa manière de penser. La lutte acharnée entre la théorie de l'émission et la théorie des ondulations, le triomphe final de cette dernière, et le développement mathématique des théories de l'éther, ne sont pas le phénomène le plus important que présente la science de cette époque. La vérité ou la fausseté de la physique de Newton pouvait d'autant moins se décider sur ce point qu'on trouve chez Newton, nous l'avons fait voir, les germes de l'une et l'autre thèse. L'essentiel de ce qu'avait apporté Newton demeure à travers toutes les oscillations de doctrine, savoir sa méthode même et sa notion de l'hypothèse.

L'idée de l'éther, telle que l'avait définie Newton, a eu son heure de succès. Les immortels travaux de *Fresnel* sont venus au moment où cette idée était mûre pour le développement mathématique, et où les scrupules qui avaient retenu Newton n'avaient plus de raison d'être. Mais la réserve méthodique de Newton ne se justifie-t-elle pas de nos jours, maintenant que l'hypothèse de *Fresnel*, malgré son éclat, semble épuisée, et qu'on a tiré de cette image la part de vérité qu'elle contenait ? Ne semble-t-il pas qu'on revienne de toutes parts à des hypothèses d'espèces différente, où l'éther change de nom et même de nature pour laisser place à des explications cinétiques, fort voisines des anciennes hypothèses moléculaires ? Sans prétendre juger d'un seul mot les théories modernes des *ions* et des *électrons*, il est certain qu'on peut voir dans ces théories un retour conscient aux théories de l'émission.

Est-ce à dire qu'il y ait là un recul, un abandon de l'hypothèse de l'éther, considérée comme absolument fausse, pour une hypothèse quasi-atomistique considérée comme absolument vraie ? Non, et la physique moderne s'est entièrement conformée sur ce point aux tendances de la doctrine de Newton. Elle a fini par comprendre que les hypothèses quelles qu'elles soient, représentations mécaniques, élastiques, hydrodynamiques, etc., n'ont qu'un rôle momentané dans la science. Elles ont pour fonction de répondre, à un instant donné, à l'ensemble des faits acquis, et de permettre la systématisation d'autres faits. Leur valeur se juge non à leur durée, mais à leur faculté d'adaptation aux découvertes. En ce sens il est presque vrai de dire que l'utilité d'une hypothèse est en raison inverse de sa durée, puisque plus importants sont les services qu'elle rend, plus vite elle s'use et se désagrège. Mais rien ne prouve qu'une hypothèse vieillie ne puisse pas tôt ou tard, sous une autre forme, reprendre sa place dans la science. L'histoire de la physique n'est que l'histoire du rajeunissement de vieilles hypothèses. Toutes ces idées avaient été comprises par Newton, et appliquées par lui avec une rigueur inflexible. C'est sa méthode, plus encore que les résultats matériels attachés à ses découvertes, qui a pris une importance décisive dans la science moderne. La théorie de l'éther nous a fait voir comment Newton a su observer ses principes jusque dans la

partie la plus hypothétique de son œuvre. L'esprit positif, dont il ne s'est jamais départi, est vraiment ce que sa physique a légué de plus original à la physique du xix^e siècle. Newton est peut-être dans l'histoire des sciences le seul exemple d'un théoricien dont les adversaires ont dû se faire, malgré eux, les disciples et les imitateurs.

Vu : le 4 mai 1907,

Le Doyen de la Faculté des Lettres
de l'Université de Paris,

A. CROISSET.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

TABLE DES MATIÈRES

I. — Introduction. — La notion de l'Ether. — Opposition à Descartes et à l'Atomisme. — Relativité de la Matière.	1
II. — Les prédécesseurs de Newton. — Physiciens et Astronomes : Antoine de Dominis, Marcus Marci de Kronland, Léonard de Vinci, Galilée, Isaac Voss, Grimaldi, Hooke, Boyle, Képler, Bouillau, Borelli.	4
III. — Les adversaires de Newton : Descartes, Huyghens, Bernouilli, Leibniz, Malebranche, Gassendi, Lesage.	13
IV. — Critiques de Newton contre les théories moléculaires. — Les trois phases de la physique de l'Ether.	16
V. — De 1672 à 1675. — Théories moléculaires. — Critiques de Hooke. — Réponse de Newton. — Objections de Huyghens. — Théorie des couleurs. — Lettre de Newton à Oldenburg. — Polémiques avec Pardies, Linus, Lucas, Gascoigne.	19
VI. — De 1675 à 1687. — Rapprochement avec les théories ondulatoires. — Découvertes de Römer et de Grimaldi. — Négation des actions à distance. — Résistance des fluides et vitesse de propagation. — Nouvelles polémiques avec Hooke. — Théorie des interférences. — Périodicité le long du rayon	31
VII. — La dernière forme de la théorie de l'Ether. — Rapports de l'Ether et de la Matière. — <i>Quæstiones opticæ</i> . — Opinion de F. Rosenberger. — Signification philosophique de l'hypothèse de l'Ether.	51
VIII. — La Gravitation universelle. — Fluide électrique et magnétique. — Phénomènes vitaux. — L'Ether gravifique. — Objections de Leibniz et d'Huyghens. — Le Scholie Général des Principes. — Lettre à Bentley. — Unité de l'Ether.	64
IX. — Les successeurs de Newton : Hawksbee, Keill, Friend, Jurin, Clairaut, Boscovich, Lagrange, Laplace, Fresnel, Young. — Rôle de l'Ether dans la Physique Moderne.	81



